



EESTI MAAÜLIKOOL
Metsandus- ja maaehitusinstituut
Maaehituse- ja veemajanduse õppetool

Evely Samun

**MAHUTITE ERINEVATE KONSTRUKTSIOONILISTE
LAHENDUSTE VÕRDLUS MAKSUMUSPÕHISEL
LÄHENEMISEL (OBJEKTIPÕHINE ANALÜÜS)**

**COST-BASED ANALYZE OF DIFFERENT RESERVOIRS
CONSTRUCTION SOLUTIONS - A PROJECT BASED
APPROACH**

Ehitusinseneriõppe lõputöö
Maaehituse õppekava

Juhendaja: lektor Kaarel Sahk

Tartu 2019

Eesti Maaülikool		Integreeritud ehitusinseneriõppe lõputöö	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		lühikokkuvõte	
Autor: Evelyn Samun		Õppekava: Maaehitus	
Pealkiri: Mahutite erinevate konstruktsiooniliste lahenduste võrdlus maksumuspõhisel lähenemisel (objektipõhine analüüs)			
Lehekülgi: 67	Jooniseid: 10	Tabeleid: 10	Lisasid: 2
Osakond: Uurimisvaldkond (CERC kood)		Maaehituse ja veemajanduse õppetool Tsiviilehitus, hüdrotehnoloogia, avameretehnoloogia, pinnasemehhaanika (T220)	
Juhendaja:		Lektor Kaarel Sakh	
Kaitsmiskoht ja -aasta:		Tartu, 2019	
<p>Ehitussektoris on üks olulisemaid oskuseid planeerida, kavandada ehituse maksumust (eelarvet) ja aega ning eeltoodu abil optimeerida kulusid. Käesolevas lõputöös võrreldi omavahel kolme erinevat reservuaaride konstruktiivset lahendust, arvestades sealjuures nii nende püstitamiseks vajaliku ehitustöö teostamise keerukust, kui ka konkreetseid rahalisi tegureid, millised mõjutavad otseselt eelarve koostamist ning omavad seeläbi olulist tähendust ehitusobjekti lõppmaksumuse määramisel. Kavandatud lähenemise tarbeks analüüsiti vaadeldavate konstruktsiooni lahenduste ehitustehnoloogilisi erinevusi lähtuvalt vajalike tööde tehnoloogiat arvestades. Viidatud tegevus aitab kavandada investeeringuid riiklikul tasandil ning läbi viia vastavaid hankesid.</p> <p>Eeltoodut arvestades on töö eesmärgiks leida optimaalne toode, mis on kulupõhiselt efektiivne ning saada teada, kas eksisteerib selgepiiriline erisus ja majanduslik põhjendatus ühe või teise variandi kasutamiseks.</p> <p>Analüüsi ja järeldusi toetavate arvutuste juures tuginedi reaalse objekti monoliitraudbetoonist mahutite ehitusmahule ning võeti arvesse ehitusturul valitsevaid hetke hindasid, seda nii tööde kui ka muude ressursside osas. Vajaliku võrdluse läbi viimiseks paigutati samasse ehituskeskkonda ka monteeritavatest raudbetoon elementidest reservuaarid ning polüetüleenist väikesemahuliste mahutite park. Sellise sünteetilise võrdlemise juures juhinduti eeldusest, et käideldava heitvee maht on konstantne ning vastab baasobjekti võimsusele. Samuti unifitseeriti ühe või teise kompleksi käitamiseks vajalikud ehitus ja montaažitööd. Loodud ühtsustamise põhjuseks oli asjaolu, et täpsem lähenemine eeldanuks ehitusprojekti loomist, seda kas monteeritavast raudbetoonist mahutitele või siis polüetüleenmahutite pargile ning see väljunuks käesoleva töö mahust.</p> <p>Tänapäeva üha teadlikuma tarbimise huvides teostati ka kolme erineva konstruktsioonilahenduse võrdlus CO₂ emissiooni ja sisendenergia alusel.</p> <p>Teostatud maksumuspõhisel ja ökoloogilisel jalajälje analüüsil osutus parimaks lahenduseks monteeritavast raudbetoonist mahutite kasutamine.</p> <p>Koostatud lõputöö võiks huvi pakkuda betoonvalmistoodete tootjatele seisukohast, kas on otstarbekas selline tootmine ka Eestisse rajada.</p>			
Märksõnad: reservuaar, monoliitraudbetoon, monteeritav raudbetoon, polüetüleen			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Evelyn Samun		Curriculum: Civil Engineering (Rural Building)	
Title: Cost based analyse of different reservoirs construction solutions – a project based approach			
Pages: 67	Figures: 10	Tables: 10	Appendixes: 2
Department:		Institute of agricultural and environmental sciences	
Field of research (CERC kood)		Civil engineering, hydraulic engineering, offshore technology, soil mechanics (T220)	
Supervisor:		Kaarel Sahk, Lecturer	
Place and date of defense:		Tartu, 2019	
<p>In the construction sector one of the most important skills is planning, conceptualizing the cost (budget) and time of construction and on the basis of the above optimizing expenses. Herein thesis there were three different constructive solutions of reservoirs being compared, considering both the complexity of erecting these as well as specific financial factors, which affect directly budgeting and hence have an essential meaning of the final cost of the construction object. For the proposed approach there were analysed design solutions in construction technology differences emanating from the technology needed for certain types of work. The referred activity will help to devise investments at national level and carry out the relevant procurements.</p> <p>Reckoning the above, the aim of the work is to find an optimal product, which is cost-based effective and find out if a clear distinction and economic justification for using one or another variant is existent.</p> <p>Calculations supporting analysis and conclusions were based on the real construction volume of the monolithic concrete tanks and current prices on the construction market were taken into consideration, both in terms of work and other resources. To make the necessary comparison there were reservoirs of montaged reinforced concrete elements and small capacity container parks made of polyethylene placed into the same construction environment. Such a synthetic comparison was guided by assumption that the volume of wastewater is constant and corresponds to the capacity of the base object. Also, the construction and assembly work required to operate one or another complex was unified. The reason for the unification created, was the fact that a more precise approach would have required making a construction project, either on prefabricated reinforced concrete tanks or on the polyethylene reservoir park, and it would have gone out of the scope of this work.</p> <p>In the interest of today's increasingly conscious consumption, a comparison of three different construction solutions was also performed by looking at CO2 emissions and input energy.</p> <p>The cost-based and ecological footprint analysis proved that the best solution is to use prefabricated reinforced concrete tanks.</p> <p>This thesis should interest manufacturers of ready-made concrete products from the point of view of whether it is expedient to establish such production in Estonia.</p>			
Keywords: tank, monolith reinforced concrete, montage reinforced concrete, polyethylene			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1 ERINEVA KONSTRUKTSIOONIGA MAHUTITE PAIGALDUSE TEOREETILISED LÄHTEKOHAD.....	8
1.1 Monoliitraudbetoon mahutite paigaldus	8
1.2 Monteeritavate raudbetoonist mahutite paigaldus.....	24
1.3 Polüetüleen mahutite paigaldus.....	30
2 OBJEKTI ÜLDISELOOMUSTUS	37
2.1 Ehitatava objekti ülevaade	37
2.2 Objekti asendiplaan	40
3 TEOREETILINE MONOLIIT-, MONTEERITAV RAUDBETOON JA POLÜETÜLEEN MAHUTI PAIGALDUSMAHTUDE JA MAKSUMUSE VÕRDLUS.	42
3.1 Võimalike konstruktsioonitüüpide variandid	42
3.2 Konstruktsioonitüüpide võrdluse analüüs.....	46
3.3 Alternatiivsed valitavate ehituskonstruktsioonide võrdlemise võimalused	48
KOKKUVÕTE	56
KASUTATUD KIRJANDUS	58
LISAD	64
Lisa 1 Poola firma <i>Ecol-Unicon</i> monteeritava raudbetoon mahuti konstruktsiooni tehnilised parameetrid	65
Lisa 2. Võsupere ja Palmse külade reoveepuhasti asendiplaan.....	66

SISSEJUHATUS

Ehitussektoris, sealhulgas juba projekteerimisel on konkurentsivõime saavutamiseks üks olulisemaid oskusi planeerida eelarvet, kavandada aega ning optimeerida kulusid. Nimetatud ülesande edukaks täitmiseks on tähtis omada teadmisi erinevate ehitustehnoloogiate, vajalike ehitusprotsesside ajakulu ning kavandatava ja realiseeritava ehitusmaksumuse kohta. Erinevate ehitiste püstitamine sisaldab eneses suurema ja väiksema mahulisi ehitustöid, mille kulude osakaal on reeglina võrdeline kavandatud ehitustöö mahuga. Samas eksisteerib reaalse ehitustöö käigus olukordasid, kus teostatavate tööde maht nii suure kui väiksema mahuliste tööde osas ei ole korelatsioonis vajalike kuludega. Eeltoodu viitab eelkõige sellele, et suuremahuliste tööde puhul, niivõrd kuivõrd need moodustavad olulise osa kogu tulemi efektiivsusest, on eelarve koostamise ja optimeerimise seisukohalt eriti oluline valida õige lähenemine.

Käesolevas lõputöös käsitletakse kolme erinevat konstruktiivset lahendust reoveepuhastite ehitamisel, milleks on:

1. polüetüleen (edaspidi nimetatud PE) mahutid;
2. monoliitsetest raudbetoonist mahutid;
3. tehases toodetud raudbetoonelementidest mahutid.

Jälgides eespool esindatud liigendatust lõputöö eeldatava temaatika osas on selge asjaolu, et on otstarbekas pöörata tähelepanu eelkõige ehitusplatsil (*in situ*) teostatavatele ehitustöödele. Kaks valitud reoveepuhasti lahendust on seotud raudbetoonist konstruktsioonide rajamisega, mis toob esile vajaduse arutleda selliste tööde kulukuse, ajaressursi mahukuse ning kaasnevate riskide osas, aga ka pöörata tähelepanu võimalusele kaasata erikvalifikatsiooni saanud töölisi.

Esmasel vaatlemisel on selge, et polüetüleen mahutite kasuks räägib nende odavus ja paigaldamiskiirus, kuid siinjuures loob omad piirid kavandatavate polüetüleen mahutite maksimaalne võimalik maht, mis Eesti tingimustes on 60 m³. Kolmas võrdluseks välja pakutud raudbetoon elementidest mahutite tüüp ei ole veel Eesti turul laialdast kasutamist leidnud, vaatamata tõsiasjale, et Poolas on selliseid tooteid toodetud aastast 2012.

Uuringusse valitud kolmele alternatiivsele mahuti tüübile on omased spetsiifilised ajakulu ja maksumuse näitajad ning lisaks sellele kaasneb terve rida teisi mõjureid¹, ilma mille arvesse võtmiseta ei oleks kavandatud analüüs täiuslik.

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on võrrelda omavahel kolme erinevat reservuaaride konstruktiivset lahendust, arvestades sealjuures nii nende püstitamiseks vajaliku ehitustöö teostamise keerukust, kui ka konkreetseid rahalisi tegureid, millised mõjutavad otseselt eelarve moodustumist ning omavad olulist tähendust ehitusobjekti lõppmaksumuse määramisel. Läbi sellise erinevate konstruktsiooni lahenduste võrdluse on püstitatud eesmärk leida optimaalne toode, mis on kulupõhiselt efektiivne ning saada teada, kas eksisteerib selgepiiriline erisus ja majanduslik põhjendatus ühe või teise variandi kasutamiseks. Erinevaid reoveepuhastite mahuteid ja nende paigaldamisega seotud kulusid ning töö teostamise meetodeid võrreldakse reaalse ehitusobjekti näitel, milleks vaadeldakse võrdluse loomise eesmärgil hüpoteetilist olukorda, kus ehitusprojekti põhisesse asukohta ei paigaldata mitte monoliitset raudbetoonist mahuteid, vaid neid asendavad kas PE-mahutid või monteeritavast raudbetoonist mahutid.

Koostatud lõputöö on ülesehituslikult jagatud kolmeks osaks. Töö esimeses osas kirjeldatakse erineva konstruktsiooniga mahutite ehituse ja paigalduse teoreetilisi lähtekohti lähtuvalt Eesti Vabariigi standarditest ning nende põhjal koostatud juhenditest, samuti on kasutatud ja analüüsitud tootjate poolt etteantud paigaldusjuhendeid.

Lõputöö teises peatükis tutvustakse täpsemalt etaloniks valitud ehitusobjekti ning selgitatakse, millistel alustel ja miks sai konkreetne objekt valitud. Samuti kontsentreeritakse tähelepanu keskkonnast tulenevatele mõjutustele, mis on eelkõige seotud etalonobjekti asukohaga. Eeltoodu põhiselt omab asukoht ise, sellega kaasnev ehitusgeoloogiline situatsioon, aga ka juurdepääs kinnistule, millel asub etalonobjekt, ning üldine teede ja muu taristu olukord, märkimisväärsed tähtsust.

Töö kolmandas peatükis ehk selle analüüsivas osas esitatakse erinevate konstruktsioonitüüpide rakendamiseks vajalike paigaldusmahtude ja maksumuse võrdlus. Samuti lisatakse analüüsile järelenduslik osa, mis käsitleb ühe või teise variandi teostamise tehnoloogilist lihtsust, aga ka CO₂-heite ning vajalikku sisendenergia suuruseid. Just

¹Esmasel lähenemisel võib nimetada transpordi kulusid, tootmiskulude jaotust tehaselise tootmise ja ehitusplatsil paigaldatava vahel.

eespool viidatud tehnoloogilise lihtsuse aspekt või CO₂-emissioon või ressursside sisendenergia kogus loovad aktuaalse indikatsiooni selle üle, millist varianti tegelikkuses eelistada.

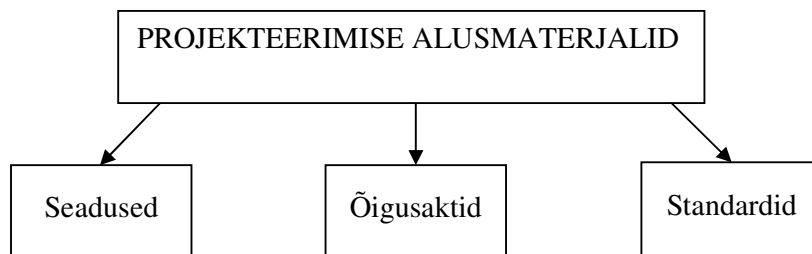
Autor tänab Keskkond & Partnerid OÜ juhatajat Siim Sibul't, kes aitas jõuda lõputöö ideeni ning võimaldas uurida kindlat objekti. Samuti tänan lõputöö juhendajat Kaarel Sahk'a, kes on oma juhendatavate jaoks alati olemas, kui viimased vajavad suunamist. Juhendajana väga põhjalik ja professionaalne.

1 ERINEVA KONSTRUKTSIOONIGA MAHUTITE PAIGALDUSE TEOREETILISED LÄHTEKOHAD

1.1 Monoliitraudbetoon mahutite paigaldus

Võttes aluseks Võsupere ja Palmse külade reoveepuhasti põhiprojekti seletuskirja saame teada, millised tingimused on ehitise projekteerija mahutite rajamiseks ette näinud. Sarnaselt reguleeritakse igakordselt konkreetses ehitusprojekti, eelkõige selle seletuskirjas, need eritingimused, mida ehitusprojekti autor peab vajalikuks esile tuua kavandatava konstruktsiooni püstitamisel ja selle stabiilsuse tagamisel.

Lõputöö aluseks oleva ehitusobjekti projekteerija on tema poolt koostatud ehitusprojekti lähtunud reast seadusandlikest aktidest ja normdokumentidest². Kasutatud projekteerimise alusmaterjalid võib sünteetiliselt liigendada kolme erinevasse osasse, mida illustreerib alljärgnev Joonis 1.1.



Joonis 1.1. Projekteerimise alusmaterjalid.

Jälgides ülaltoodud liigendatust on töö teemast lähtuvalt olulisemad seadused järgmised:

- i. Ehitusseadustik (Ehitusseadustik 2015);
- ii. Veeseadus (Veeseadus 2017);
- iii. Ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni seadus (Ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni seadus 2015).

² Sellise kirje loomine on tavapärane tegevus projekteerimispraktikas ning on otseselt seotud standardist EVS 932-2017 „Ehitusprojekt” tulenevate nõuete täitmisega.

Tulenevalt sellest, et Riigikohtu poolt 2010. aastal sõnastatud Hea ehitustava (Riigikohtu kriminaalkolleeegiumi 2010) sisu koosneb nii seadustest kui õigusaktidest, siis on oluline eristada õigusliku aluse osas eraldi õigusakte, millised baasobjekti osas oleksid järgmised:

- i. "Reovee puhastamise ning heit- ja sademevee suublasse juhtimise kohta esitatavad nõuded, heit- ja sademevee reostusnäitajate piirmäärad ning nende nõuete täitmise kontrollimise meetmed" Vabariigi Valitsuse 09.12.2016 määrus nr. 99 (Vabariigi Valitsuse määrus nr.99 2017);
- ii. „Kanalisatsiooniehitiste veekaitsenõuded”. Vabariigi Valitsuse 15.04.2010 määrus nr. 171 (Vabariigi Valitsuse määrus nr.171 2010);
- iii. „Ehitisele esitatavad tuleohutusnõuded ja nõuded tuletõrje veevarustusele“. Siseministri 30.03.2017 määrus nr. 17 (Siseministri määrus nr. 17 2017);
- iv. „Nõuded ehitusprojektile“ Majandus- ja taristuministri 17.07.2015 määrus nr. 97 (Majandus- ja taristuminister määrus nr. 97 2015);
- v. „Tee ehitamise kvaliteedi nõuded“ Majandus- ja taristuministri 06.04.2016 määruse nr. 101 (Majandus- ja taristuministri määrus nr. 101 2016);
- vi. „Tee ehitusprojektile esitatavad nõuded“ Majandus- ja taristuministri 02.07.2015 määruse nr. 82 (Majandus- ja taristuministri määrus nr. 82 2015);
- vii. „Nõuded tulekustutitele ja voolikusüsteemidele, nende valikule, paigaldamisele, tähistamisele ja korrashoiule“ Siseministri 29.01.2016 määrus nr. 39 (Siseministri määrus nr. 39 2016);
- viii. „Ehitamise dokumenteerimisele, ehitusdokumentide säilitamisele ja üleandmisele esitatavad nõuded ning hooldusjuhendile, selle hoidmisele ja esitamisele esitatavad nõuded” Majandus- ja taristuministri 04.09.2015 määrus nr.115 (Majandus- ja taristuministri määrus nr. 115 2015);
- ix. „Ehitusmaterjalidele ja -toodetele esitatavad nõuded ja nende nõuetele vastavuse tõendamise kord” Majandus- ja kommunikatsiooniministri 26.07.2013 määrus nr. 49 (Majandus- ja kommunikatsiooniministri määrus nr. 49 2013).

Sarnaselt eeltoodule tuleb projekteerimisel alati juhinduda ühtedest või teistest standarditest kui valdkonna kujundamist reguleerivatest kokkulepetest, mis antud objekti mõistes on järgmised:

- i. EVS 907:2010 Rajatiste ehitusprojekt³;
- ii. EVS 811:2012 Hoone ehitusprojekt⁴;
- iii. EVS 848:2013 Väliskanaliseerimisvõrk (EVS 848:2013 2015);
- iv. EVS 846:2013 Hoone kanalisatsioon (EVS 846:2013 2013);
- v. EVS 843:2016 Linnatänavad (EVS 843:2016 2016);
- vi. EVS 812-4:2011⁵. Ehitise tuleohutus. Osa 4: Tööstus- ja laohoonete ning garaažide tuleohutus (EVS 812-4:2011 2011);
- vii. EVS 812-6:2012. Ehitise tuleohutus. Osa 6: Tuletõrje veevarustus (EVS 812-6:2012 2012);
- viii. EVS-EN 1838:2013 Valgustehnika. Hädavalgustus (EVS-EN 1838:2013 2013);
- ix. EVS-EN 50172:2005 Evakuatsiooni hädavalgustussüsteemid (EVS-EN 50172:2005 2004);
- x. EVS-EN 12255-6:2002 *Wastewater treatment plants – Part 6: Activated sludge process* (EVS-EN 12255-6:2002 2002).

Tulles tagasi veelkordselt Riigikohtu 2010. aasta lahendi juurde (Riigikohtu kriminaalkolleegiumi 2010), selles sõnastatud Hea ehitustava sisustatuse juurde, moodustavad eraldi osa kas teaduskirjanduses avaldatud või kutseorganisatsioonide reeglistik. Eeltoodut jälgides on lõputöö aluseks oleva objekti ehitusprojekti seletuskirjast võimalik esile tuua järgnevad dokumendid, mida võib käsitleda kui kutseorganisatsioonide reeglistikku:

- i. Standard ATV-A 131E. *Dimensioning of Single-Stage Activated Sludge Plants* (ATV-DVWK-A 131E 2000);
- ii. Juhend DWA-M 210 *Belebungsanlagen mit Aufstaubetrieb* (SBR) (DWA-M 210 2009);
- iii. RIL77-2013. Pinnasesse ja vette paigaldatavad plasttorud. Paigaldusjuhend (RIL 77-2013 2015).

³ Vastavalt 2017 aasta mai kuus Eesti Standardikeskuse poolt kehtestatud EVS 932:2017 „Ehitusprojekt” (EVS 932:2017 2017) on rajatise ehitamist käsitlev standard kehtetu ning kogu ehitisi käsitlev standardiseeritud regulatsioon koondatud uude projekteerimise standardisse.

⁴ Lõputöös kasutatava näidisobjekti projekteerimise lõpetamise hetkel oli Eesti Standardikeskuse poolt kehtestatud juba standard EVS 932:2017 „Ehitusprojekt”, millest tulenevalt pidanuks ehitusprojekti seletuskiri ka seda arvestama.

⁵ Lõputöös kasutatava näidisobjekti projekteerimise ajal kehtiv, alates 16.01.2018 kehtib uus standard EVS 812-4:2018 „Ehitise tuleohutus. Osa 4: Tööstus- ja laohoonete ning garaažide tuleohutus.”

Lisaks eelpool loetletud kutseorganisatsioonide reeglistikkudele on töö autor seisukohal, et ehitustööde kvaliteetse läbiviimise tagamiseks tuleb juhendada veel mitmetest juhenditest nagu seda on:

- i. Tarindi RYL 2010 : ehitustööde kvaliteedi üldnõuded. Hoone kande- ja piirdetarindid. (Eesti Ehitusteabe Fond 2012);
- ii. MaaRYL 2010 : ehitustööde kvaliteedi üldnõuded. Hoone ehituse pinnasetööd. (Eesti Ehitusteabe Fond 2011);
- iii. Sisetööde RYL 2013 : ehitustööde kvaliteedi üldnõuded. Hoone sisetööd. (Eesti Ehitusteabe Fond 2014).

Töö autor on teadlik asjaolust, et viimasena loetletud RYL-i juhiste puhul on tegemist Soome Hea ehitustavaga, mis eeldaks kogu projekt-ehitustegevuse vastavust Soome ehitusnormidele. Samas on need ainukesed juhendmaterjalid, mille alusel on võimalik täna kontrollida teostatud ehitustööde kvaliteeti, tehes seda eelkõige tolerantside ja muude RYL-is lubatud maksimaalseid hälbeid jälgides.

Maa-aluste mahutite ehitamiseks tuleb esmalt kaevata süvend, seejärel tuleb ehitada tihendatud killustikalus paksusega 300 mm. Loodava, tihendatud killustikaluse elastsusmoodul peab olema $E = 140$ MPa ning vastava killustikaluse ehitamiseks kasutatakse killustikku fraktsiooniga 16-32 mm, mis kiilutakse killustikuga fraktsioon 8-16 mm. Peale killustikaluse⁶ rajamist alustatakse betoonitööde teostamisega.

Monoliitsest raudbetoonist reservuaaride ehitamisel teostatavate betoonitööde juures tuleb juhendada järgmistest nõudmistest:

1. mahutite raudbetoonist põrandaplaadi paksus peab olema 300 mm. Mahutite katteplaat rajatakse monoliitsest raudbetoonist paksusega 200 mm;
2. mahutite seinte paksus peab olema 250...300 mm;
3. mahutite rajamiseks kasutatav betooni mark peab olema C30/37, katteplaadi rajamiseks vastav näitaja on C25/30, kaldpinnad peab valmistama betoonist C20/25;
4. rajatavad kaldpinnad peavad olema sileda pinnaga;

⁶Vastavalt kehtivatele ehituse dokumenteerimisnõuetele tuleb killustikaluse teostamise kohta koostada kaetud tööde akt.

5. mahuti peab vastama veepidavusele W8. Vajaliku veepidavuse tagamiseks lisatakse betoonisegule lisandeid, millega tõstetakse veepidavust ja konstruktsiooni vastupidavusevõimet, nt *Xypex Admix C-1000NF* või mõni muu analoogne toode;
6. töövuukide tihendamiseks kasutada hüdrofiilset vuugilinti. Samuti peavad mahutitesse tehtavad avad olema veetihedad;
7. mahutite rajamisel on minimaalne armatuuri kaitsekiht 50 mm, katteplaadi rajamisel on vastav minimaalne näitaja 40 mm, kusjuures armatuuri sidumistraadi otsad ei tohi jääda vastu raketisi;
8. betoon tihendada vibreerimise teel.

Pärast monoliitse raudbetoonmahuti valmimist tuleb teostada veekatse rajatud mahuti veepidavuse kontrollimiseks, kusjuures sarnaselt killustikalusele tuleb läbi viia asjakohane dokumenteerimine ning koostada läbiviidud veesurvetesti kohta katseakt. Juhul kui pärast veekatset selgub, et reservuaari veekindlus ei ole tagatud, siis tuleb veepidavus tagada teiste meetoditega, milleks on näiteks pindade katmine hüdroisolatsiooniga *Xypex Concentrate* või mõne teise analoogse materjaliga.

Võttes aluseks töö autorile omased hetke parimad⁷ teoreetilised ja praktilised teadmised selles osas, et betoonitööd on mahutite rajamisel ühed töömahukamad, vastutusrikkamad ja kallimad ehitustehnoloogilised tööd, siis peab lõputöö autor vajalikuks siinkohal välja tuua peamised tingimused ning nendega seotud parameetrid, milliseid tuleb arvesse võtta betoonitööde teostamisel.

Lisaks Võsupere ja Palmse külade reoveepuhasti seletuskirjas sätestatule kirjeldab betoneerimistööde ettevalmistust, betoneerimise teostamist ning betooni järelhooldamist insener Jukka Uusitalo koos oma koosautoritega raamatus „Betonitööd” (Uusitalo, et al. 2008). Siinjuures võib konstateerida asjaolu, et objektipõhise ehitusprojekti seletuskiri peab vastama nii üldtunnustatud teoreetilistele lähenemistele kui ka neid arvestatavatele valdkonna standarditele ja kutseorganisatsioonide juhiste ning rahuldama ka Hea ehitustava nõudmisi⁸.

⁷ Parimaid inseneridele omaseid hetke erialaseid teadmisi nimetatakse erinevates inseneripraktikates *Current State of Art*.

⁸ Algselt oli Hea ehitustava defineeritud Ehitusreeglite Nõukogu 09.09.1994.a protokollilises otsuses nr. 8 nimetatuna „Hea Ehitustava. Üldtunnustatud ehitusreeglid”

Betoonitööde teostamisega seondult toob Jukko Uusitalo koos oma kaasautoritega (Uusitalo, et al. 2008) välja erinevad betoneerimistööde teostamise etapid⁹. Betoneerimistööde etapilisusele ning sellega kaasnevatele probleemidele on samuti tähelepanu juhtinud ajakirja „Ehitaja” veergudel ehitusinsener Enn Uustalu (Uustalu 2001).

Eeltoodu kokkuvõttes võib betoonitööd liigendada alljärgnevalt:

- i. tööd algavad ettevalmistustöödega, milledeks on muuhulgas raketise teostamine, armatuuri paigaldamine;
- ii. betoonisegu transport ehitusobjektile;
- iii. betooni vastuvõtmine;
- iv. betooni teisaldamine ehitusplatsil töötsooni;
- v. valuetapp koos betoonivalu tihendamisega;
- vi. betooni järelhooldus ning
- vii. lahti raketamine¹⁰.

Siinjuures on oluline, et betoonimistööde teostaja tunneb hästi eespool loetletud tehnoloogiliste etappidega seotud toiminguid ning et nende teostamise käigus ei rikutaks tehnoloogilist toodet mitteesjakohaste töövõtetega¹¹. Samuti on oluline, et betoneerimistööde teostamisel jälgitakse konstruktsioonide vertikaalsusega kaasnevaid probleeme niivõrd, kuivõrd nendes esinevate defektide parandamine või konstruktsiooni muutmine on ehitustehnoloogiliselt keeruline ning osutub seetõttu rahaliselt kalliks. Betoontarindite ehitamisel peab meeles pidama, et need on püsitarindid ja nende parandamine ning muutmine on keeruline ja kallis. Eeltoodust tulenevalt omab tähendust Jukko Uusitalo seisukoht, et läbiviidavad betoneerimistööd tuleb võimalikult täpselt kavandada¹² (Uusitalo, et al. 2008).

⁹ Loetelu esitamise käigus on töö autor teostanud Uusitalo poolt esitatud liigenduse täiendava ümbersõnastamise võttes seejuures arvesse ka insener Uustalu poolt esitatut.

¹⁰ Lisaks olulistele betoneerimistöödele tuleb kaetudtööde akt koostada selliselt, et see kataks ka raketise teostamisega ning betoonihooldamisega seotud tegevuse.

¹¹ Reeglina tekitavad mitteesjakohased töövõtted selliseid ehitusdefekte, millised vajavad parandamist või milliste mitte parandamine põhjustab ekspluatatsiooniliste kahjustuste tekkimist.

¹² Eriti oluline on see suuremahuliste betoneerimistööde juures, kus betoneerimistööde tehnoloogilised pausid võivad oluliselt kahjustada valmiskonstruktsiooni kvaliteeti.

Monoliitraudbetoonist mahutite ehitamiseks on vaja püstitada raketised ja muud ajutised ehituskonstruksioonid (tugikaared, postid, jms.), millised peavad vastama joonistele ning olema suutelised taluma mis tahes neile mõjuvaid koormuseid kogu tehnoloogilise tsükli vältel, olles teostatud korralikult piisava tihedusega ning vajadusel kindlustatud täiendava toetusega. Loetletud nõuded viitavad sellele, et keerukate konstruksioonide puhul on vajalik raketise konstruktiivsete jooniste koostamine neid raketisi tarnivate ettevõtete poolt (AS Peri, OÜ Langeproon Inseneriehitus¹³, AS Ramirent jt.). Lisaks konstruktiivsetele lahendustele ning nende vastavusele ehitusaegsetele koormustele peavad raketise pinnad olema puhtad, neil ei tohi olla lund ja jääd, vett või prahti, puidujäätmekihid, muda vms mustust. Samuti tuleb enne betoneerimistööde teostamist ette näha laudraketiste kastmine või raketise vineerpindade õlitamine ning vertikaalraketistesse tuleb jätta avad puhastamise, betoonimise ja tihendamise tarbeks.

Võrdlusanalüüsiks kasutatava ehitusobjekti projekti seletuskirjas on lisaks betoonitööde teostamise erinevatele kirjetele välja toodud ka asjaolu, et monoliitse raudbetoonist konstruksiooni raketis peab olema tihe, selle liitekohtades ei tohi esineda pinnakõrguse erinevusi. Raketise määrimiseks kasutatav määre ei tohi baseeruda mineraalõlidel ega tekitada betoonpinna värvimuutusi.

Ühe olulise tehnoloogilise toiminguna omab olulisimat tähtsust sarrustatud betoonkonstruksioonide püstitamiseks vajalikku terassarruse paigaldamine. Vajalike sarrusetööde iseloomustamisel ning nende sisu kirjeldamisel on töö autor lähtunud eelkõige Juhani Ruohomäki raamatust „Sarrusetööd” (Ruohomäki, et al. 2008).

Sarrustatud betoonkonstruksiooni teostamiseks vajaliku sarruse projekteerimisel ning selle teostamisel tuleb arvesse võtta sarruse kui tarindi õige toimimine ja vastupidavus, seda ka tööde tehnoloogilise teostamise ajal konstruksioonile osaks saavate teiste ehituskonstruksioonide kaalu arvestades. Sarruste paigaldamisel jälgitakse alati, et tööd teostataks sarrusejoonistes esitatud viisil ning, et vajalikud joonised on ehitustööde järelevalve poolt kinnitatud¹⁴. Soome ehituspraktika, nii nagu seda toonitab Juhani Ruohomäki (Ruohomäki, et al. 2008), tuleb enne betoonitööde alustamist sarruse kui spetsiifilise konstruksiooni osas teostada ülevaatus, mis on läbi viidud ehitusjärelevalve ja

¹³ AS Langeproon on koostanud eraldi juhendi „Raketised” (Langeproon Inseneriehitus OÜ kuupäev puudub)

¹⁴ Ehitustööde praktika Eestis ei nõua vastavate jooniste kinnitamist järelevalve poolt, sest järelevalve esmane ülesanne on tagada ehitamine vastavuses ehitusprojektiga.

tarindi projekteerija poolt ning fikseeritakse kirjaliku kinnitusega ametlikule sarrusejoonisele.

Betoneerimistööde teostamisel on oluline jälgida, et sarrusvarraste ümber moodustub piisava paksusega betoonist kaitsekiht, mis tagab selle, et sarrusvardad ei hakka roostetama ning nad toimivad koos betooniga. Vajaliku betoonikaitsekihi paksust reguleerib erinevatel euronormidel ja standarditel põhinev, näiteks EVS-EN 13369:2018 „Betonvalmistoodete üldeeskirjad.” (EVS-EN 13369:2018 2019), „Betonkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1 Üldreeglid ja reeglid hoonetele.” (EVS-EN 1992-1-1:2005 2009) ning see (betoon kaitsekihi paksus) märgitakse igakordselt ehitusprojekti tööjoonistel ning selle kihi paksus on alati korrelatsioonis rajatava betoontarindi kavandatava kasutamise keskkonnatingimustega vastavalt standardile EVS-EN 206:2014+A1:2016 „Beton. Spetsifitseerimine, toimivus, tootmine ja vastavus.” (EVS-EN 206:2014+A1:2016 2016). Töö autor toob esile asjaolu, et standard EVS-EN 13670:2010 „Beton konstruktsioonide ehitamine:” sarrust käsitlevas osas ei reguleeri eraldi sarruse betoonist kaitsekihi paksust (EVS-EN 13670:2010 2011).

Täiendavalt teistele keskkonnatingimusi reguleerivatele materjalidele on otstarbekas kasutada Eesti Ehitusteabe Keskuse poolt välja antud juhendmaterjali RT 18-10922 „*Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot*”¹⁵ (RT 18-10922 2008). Nimetatud juhend materjali tähtsus ei seisne mitte ainult keskkonnaklasside esile toomises, vaid ka selles, et seal esitatakse toodete, tarvikute, materjalide ja konstruktsioonelementide eeldatav eluiga vastavuses kasutuskeskkonna klassile.

Tuginedes Euroopa standardile EVS-EN 10080:2006¹⁶ „Betooni sarrusteras. Keevitatav sarrusteras. Üldsätted” (EVS-EN 10080:2006 2006), aga ka TTÜ emeriitdotsendi Laur’ ja professor Lill’ poolt koostatud juhendile BÜ2¹⁷ „Beton ja raudbetoon: Spetsifitseerimine, tehnoloogia, kvaliteet, vastavushindamine.” (Laur ja Lill 2017), siis iga ehitusplatsile saabunud armatuurterase partii peab olema varustatud valmistajatehase sertifikaadiga¹⁸.

¹⁵ Ehitusalase informatsiooni hoidja Eesti Ehitusteabe keskus on eestindanud ainult nimetatud RT kaardi tehnilise osa, mille tõttu keskkonna eluea ja muude näitajate kontekstis tuleb kasutada RT-kaardi soome keelset versiooni.

¹⁶ Nimetatud standardi kehtestamisega kaotas kehtivuse analoogne Euroopa standard EN10080:2005

¹⁷ Kõik BÜ seeria juhendmaterjalid on koostatud Eesti Betooniühingu egiidi all.

¹⁸ Enamkasutatavad sarrusterased tarnitakse saatedokumentidega, kus on viidatud Vene standarditele, Soome standarditele ja Saksa standarditele.

Lisaks eeltoodud materjali kvaliteedikontrolli tagavale võimalusele tuleb jälgida, et:

1. iga armatuurterase liik peab olema kergesti tuvastatav;
2. kasutatava sarruse pinnal ei tohi olla lahtist roostet;
3. teisi kahjulikke aineid, mis võiksid kahjustada:
 - i. armatuurterast;
 - ii. kasutatud kaubabetooni ja/või
 - iii. betooni ja armatuuri vahelist naket.

Raamatus „Sarrusetööd” konstateerib Juhani Ruohomäki (Ruohomäki, et al. 2008) asjaolu, et töö sujumiseks on vajalik ehitusplatsile sisse seada oma sarrusesõlm, mis peab olema katuse all, et kaitsta kasutatavat armatuurterast ilmastikumõjude eest ja teisalt selline, et see võimaldaks kasutatava materjali mehaanilist transporti ja laadimist. Samuti peab olema kavandatud sarrusesõlm sellise tehnoloogilise varustatusega, et see võimaldab vajadusel armatuurterast lõigata, painutada ning koostada tasapinnalisi ja ruumilisi elemente. Lisaks eeltoodule on oluline, et sellises sarrusesõlmes on võimalik ladustada valmissarruseid ning ära lõigatud vardatükke ning hoiustada erinevaid sarrusdetalle; olemas peab olema ka sarrusedetailide ladu.

Seletuskirja kohaselt on ettenähtud spetsiaaltugede kasutamine armatuurvarraste toetamiseks raketises ning varraste sidumine omavahel tihedusega, mis tagab pärast betoneerimist sarruse paiknemise projektijärgses kohas arvestades lubatud hälbeid. Töövõtja paigutab ja fikseerib armatuuri joonistel näidatud asendisse ja tagab selle asendi ka betoneerimise ajal. Armatuurvardaid ei tohi painutada siis kui ümbritsev temperatuur on alla -5°C.

Armatuurteras peab paigaldamise ajal olema puhas ja ilma vigastusteta, mitte määrdunud rasva või õliga, vaba lahtisest rauaoksiidist ja roostest. Armatuuri ei tohi ladustada vahetult kokkupuutes pinnasega; et ära hoida varraste deformeerumist, tuleb need ladustada tugeledele.

Projekti järgi painutatakse armatuuri külmalt ning seda ei tohi uuesti sirgestada. Sidumistraatide paigaldamisel ei tohi nende otsi keerata vastu raketist. Keelatud on elektrikaablite isolatsioonitorude paigaldamine armatuuri kaitsekihi tsooni, samuti torude paiknemine töötava armatuuri vahetus läheduses.

Monoliitsest raudbetoonist mahutite valmistamiseks kasutatakse vastava klassiga betooni, mis koosneb portlandtsemendist (sisaldab lisaineid maksimaalselt 5%), nõuetele vastavast veest ning puhastest, kvaliteetsetest täiteainetest, kusjuures kõik kasutatavad täiteained peavad omama vastavat sertifikaati (CE) ning võimalusel ka vastavustunnistust (ETA). Kasutavate materjalide puhul ei tohi need sisaldada kaltsiumkloriidi ja/või teise erinevaid kloriide sisaldavaid lisandeid. Juhul kui betooni kiiremaks kivistumiseks on vajalik lisada teistsuguseid plastifikaatoreid või kiirendeid, siis tuleb sellest informeerida omaniku järelevalve teostajat¹⁹. Võttes arvesse asjaolu, et suuremahuliste betoonitööde puhul vajalik kaubabetoon tarnitakse otse tootjalt spetsiaaltranspordiga ehitusplatsile ja pumbatakse koheselt ehitustsooni, siis puudutab erinevate lisandite kasutamine ja sellest teavitamine eelkõige betoonitootjat. Monoliitne betoon konstruktsioon peab olema klassifitseeritud pärast 28 päevast kivistumist ning selle aja jooksul teostatud valubetooni hooldustööde kohta tuleb koostada eraldi kaetudtööde aktid või pidada asjakohast hooldustööde päevikut.

Ekspluatatsioonitingimused avaldavad otsustavat mõju konstruktsiooni kasutuseale. Projekteerimise käigus valitakse ehitisele või rajatisele toimiv keskkonnamõjur järgmiste keskkonnaklasside järgi (EVS-EN 206:2014+A1:2016 2016) jaotis 4.1:

1. karboniseerumisest põhjustatud korrosioon;
2. kloriidist (välja arvatud mereveest pärinev) põhjustatud korrosioon;
3. merevee kloriidist põhjustatud korrosioon;
4. külmumise/sulamise mõju koos või ilma jäätetavastaste aineteta;
5. keemilised mõjurid. (Laur ja Lill 2017)

Konkreetses objekti betoonkonstruktsioonide keskkonnaklassideks on seletuskirja järgselt XC3, XC4, XA2, XF3, mis on lahti seletatud alljärgnevas tabelis (Tabel 1.1.).

¹⁹ Nimetatud nõue kehtib sellisel juhul kui muudetakse ehitusprojektis ettenähtud betoonikoosseisu ning sellega seoses ei toimu enam ehitamine vastavuses ehitusprojektiga.

Tabel 1.1. Keskkonnaklassid²⁰ (Laur ja Lill 2017)

Klassi tähis	Keskkonna kirjeldus	Näited keskkonnaklasside rakendamise kohta
2 Karboniseerumisest põhjustatud korrosioon		
XC3	Möödukalt niiske	Betoon mööduka või kõrge õhuniiskusega siseruumides. Välisõhus olev, vihma eest kaitstud betoon.
XC4	Vaheldumisi märg ja kuiv	Veega kokkupuutuvad pinnad, mis ei kuulu klassi XC2.
5 Külumise/sulamise mõju koos või ilma jäätavastaste ainetega		
XF3	Tugevasti veega küllastunud, ilma jäätavastase aineta	Vihma ja külma eest kaitsmata rõhtsad betoonpinnad.
6 Keemilised mõjurid		
XA2	Mööduka keemilise agressiivsusega keskkond	Betoon, mis on avatud looduslikule pinnasele ja pinnaveele.

Mahutite ehitamiseks kasutatava betooni tugevusklass peab vastama tööjoonistel ja seletuskirjas esitatud nõuetele. Betooni omadused peavad olema tõendatud vajalike saatedokumentidega. Kaubabetooni tarnimisel antakse tootja poolt betooniseguga kaasa saatekiri, mida tuleks kindlasti kontrollida enne betoonisegu maha laadimist (Laur ja Lill 2017).

Seletuskiri näeb ette, betoonimassi tehaseandmed ning kvaliteedi, testide ja uuringute tulemused peab säilitama vähemalt kolm aastat. Muud kvaliteediuuringutega seotud dokumendid tuleb säilitada üks aasta pärast konstruktsiooni või elemendi kasutusele võtmist.

Kõik betoonivalu ettevalmistustööd peavad olema enne betoonimise alustamist lõpetatud, kontrollitud ja dokumenteeritud vastavalt järelevalveklassi (EVS-EN 13670:2010 2011) nõuetele (Laur ja Lill 2017). Antud objekti puhul on tegemist 1. järelevalveklassiga, kus ei ole nõutud järelevalveplaani koostamist, meetodeid ja juhiseid vastavalt spetsifikatsioonile. Tegemist on põhijärelevalvega (tavapäraselt nimetatud omanikujärelevalve²¹) ning selle käigus protokollitakse kõik ebaharilikud tegurid ja muud näitajad millised võivad kahjustada tööde läbiviimist või mõjutada betoneerimistööde kvaliteeti. Kõikide järelevalve käigus protokollitud tegurite osas (mittevastavused, järelevalve poolt tehtud

²⁰ Töö autor on koondanud tabelisse ainult käesoleva lõputöö sisuga seotud materjalide keskkonna klassid.

²¹ Vaatamata omanikujärelevalve kaasamisele lasub järelevalvekohustus ka Tarbijakaitse ja Tehnilise Järelevalve Ametil ning kohalikul omavalitsusel (Ehitusseadustik 2015).

ettepanekud jne) koostatakse asjakohased protokollid, millised peavad vastama ehituse dokumenteerimise üldistele nõudmistele, millised hakkasid kehtima 01.07.2015²².

Juhendi BÜ2 „Beton ja raudbetoon: Spetsifitseerimine, tehnoloogia, kvaliteet, vastavushindamine.” koostajad Laur ja Lill toovad koostatud juhendis välja olulised nõuded betooni valu ja tihendamise kohta, milledega on vaja arvestada, et kavandatud betoonkonstruktsioonide kvaliteet saaks tagatud projektis ettenähtud ulatuses.

Võttes kokku eespool nimetatud betoonitööde teostamise juhendis esitatud seisukohtasid võib esile tuua olulisemad nõuded betoonitööde teostamise osas alljärgnevas:

1. oluline on jälgida, et betoonitava sektsiooniga puutes oleva pinnase, kivimi, raketise või varem betoonitud konstruktsiooniosade temperatuuri. Eeltoodu tähendab seda, et külgnivate, allolevate või katvate struktuuride pinnatemperatuur ei tohi põhjustada paigaldatava betooni külmumist enne, kui paigaldatud betooni tugevus on saavutanud taseme, mis võimaldab taluda külmumise mõju;
2. juhul kui betoneerimistööde teostamise ajaks ja/või paigaldatud betooni hooldeperioodi ajaks ennustatakse temperatuuri mis on madalam kui 0°C, tuleb kavandada vajalikud ehitustehnoloogilised abinõud välistemperatuuri toime eest;
3. samuti on oluline, et betoonivalu ei puutuks kokku külmunud pinnasega, välja arvatud juhul kui betoneerimistöödel ei kasutata spetsiaalseid meetodeid;
4. vastandina eeltoodule, vt punkt 2, tuleb jälgida, et juhul kui betoneerimistööde ajal ja/või betooni hooldeperioodi ajal on oodata tavalisest kõrgemat välisõhutemperatuuri, tuleb samuti kavandada asjakohased abinõud betooni kaitsmiseks, seekord kõrge õhutemperatuuri kahjustava mõju eest;
5. nendel juhtudel kui konstruktsiooni paigaldatud betoon puutub otse vastu geoloogilist struktuuri (pinnast või kivimit) tuleb jälgida, et paigaldatud betoonisegu ei seguneks mingilgi juhul pinnasega või, et pinnasest ei eralduks vett nii, et see satub värskesse betoonkonstruktsiooni;
6. samuti on oluline jälgida suurte avatud betoonpindade puhul seda, kas ja kuidas on need avatud tuule kuivatavale mõjule.

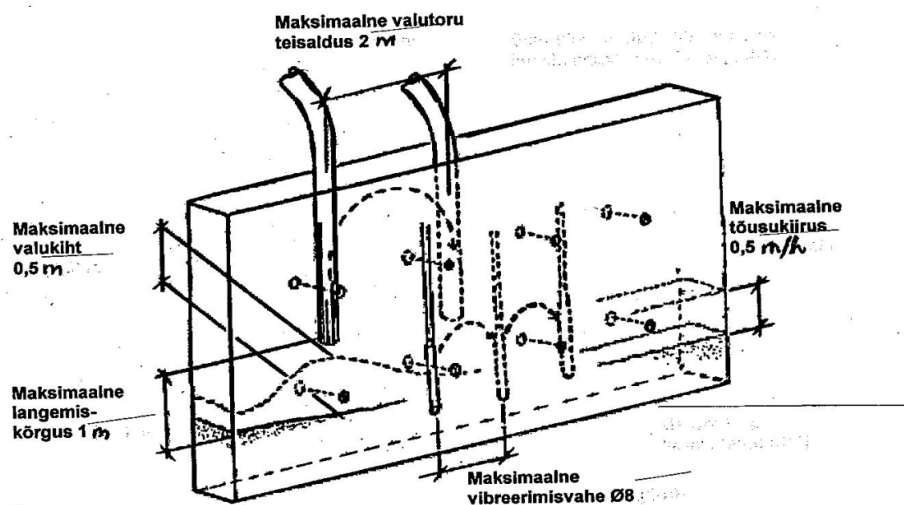
²² „Ehitamise dokumenteerimisele, ehitusdokumentide säilitamisele ja üleandmisele esitatavad nõuded ning hooldusjuhendile, selle hoidmisele ja esitamisele esitatavad nõuded”, Majandus- ja taristuministri 04.09.2015 määrus nr.115 (vt määruse paragrahv 8- töö autor rõhutab, et cá kahe poole kuu jooksul oli vastav valdkond Eestis reguleerimata)

Vertikaalkonstruksioonide betoneerimisel tuleb betoonisegu tõusukiirus viia kooskõlla tihendusaja nõuetega, mis välistab võimaluse kasutada teatud juhtudel betoneerimistööde käigus kasutuses oleva betoonipumba kogu võimalikku pumpamiskiirust. Vertikaalsete kui ka horisontaalsete betoonkonstruktsioonide betoneerimisel on nimetatud piirangud ja muud betoneerimisega seotud erisused otstarbekas kajastada ehitustööde teostamise projekti vastavas osas.

Kirjeldades valubetooni tihendamise seotud temaatikat (Laur ja Lill 2017) on võimalik juhtida tähelepanu järgmiste nõuete arvestamise ja täitmise vajadusele:

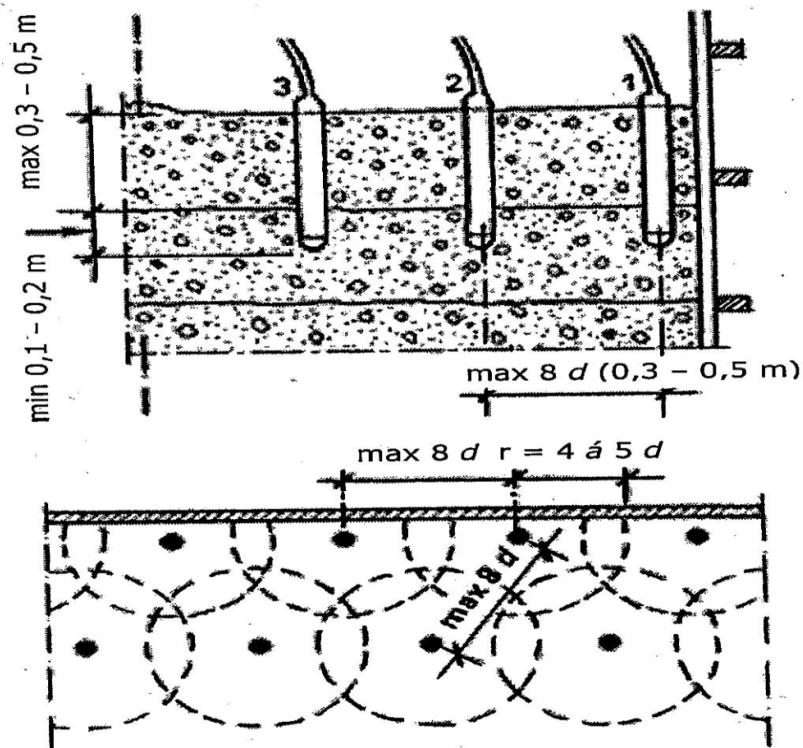
1. betooni tihendamise seotud tööesi peab olema piisavalt valgustatud, mis võimaldab näha teostatava konstruktsiooni raketise alumist pinda;
2. betoonipumpamise juures tuleb jälgida, et betoonisegu langemiskõrgus ei ületaks ühte meetrit, mis toob enesega kaasa vajaduse, kas:
 - 2.1. kasutada valusukka või;
 - 2.2. viia pumbavalus toru otsik otse raketisest moodustuva vormi sisse;
3. betoneerimise juures tuleb jälgida, et välditakse betooni kihistumist, millest tulenevalt peab betooni valamine toimuma vertikaalselt, seda kas vormi põhja või siis juba varasemalt valatud betoonile;
4. betoneerimistööde teostamisel juhitakse raketises moodustunud vormi betoon ühtlaste kihtidena, kihi paksusega 30-50 cm. Iga selline valu kiht valatakse ja tihendatakse jooksvalt kogu vormi ulatuses;
5. betoonisegu süstemaatiliselt tihendamisel sisevibraatoriga tuleb jälgida, et vibraatori otsikute vajutuste (sisenemiste) vahe on maksimaalselt 400 mm ning sellele vastav vibreerimisaja kestvus maksimaalselt 15-20 s;
6. neil juhtudel kui teostatakse vertikaalkonstruksioonide ülaosade tihendamine tuleb arvestada sellega, et vertikaalsetest konstruktsioonidest eraldub õhk aeglasemalt ning uus vajalik tihendamine tuleb teostada sellise arvestusega, et paigaldatud ja tihendatav betoon oleks veel plastne.

Illustreerimaks eeltoodut, eelkõige betoonkonstruktsiooni tihendamise seonduvat, on otstarbekas vaadelda Soome Betooniühingu poolt kirjastatud juhendit „by 65 Betoninormit 2016” (Suomen Betoniyhdistys 2017). Viidatud juhendis on esitatud joonis, millel on markeeritud betooni valuks ja tihendamiseks vajalike avade paiknemine ning illustratiivselt kujutatud maksimaalse langemiskõrguse mõiste olemust (Joonis 1.2).



Joonis 1.2. Seinakonstruktsiooni betooni tihendamine. (Suomen Betoniyhdistys 2017)

Lisaks joonisele 1.2 „Seinakonstruktsiooni betooni tihendamine” on viidatud juhendis kujundlikult illustreeritud ka see, kuidas peaks toimuma betooni tihendamine horisontaalses ja vertikaalses positsioonis (Joonis 1.3).



Joonis 1.3. Betooni süstemaatiline tihendamine. (Suomen Betoniyhdistys 2017)

Joonisel 1.3. on markeeritud tihendamiseks kasutatava vibraatori minimaalne ja maksimaalne sügavus arvestades betoonikihi paksust. Samuti antakse sisevibraatori otsiku sisestamisel tekkiva moodustuva tihendusala skeem, mis loob tihendamise nõuetele vastamise saavutamiseks paiknemise. Nendel juhtudel, kui tähelepanu all on monoliitbetoonist horisontaalkonstruksioonide valamine ja tihendamine on lisaks eeltoodule otstarbekas arvestada nõudmistega, milliseid reguleerivad erinevad allikad nagu (Laur ja Lill 2017); (Suomen Betoniyhdistys 2017) ning on kokku võetavad alljärgnevas:

1. vajaliku vibraatori suurus valitakse alati vastavalt tihendatava objekti mõõtudele;
2. valubeton vibreeritakse selliselt, et kaugus valukohast on maksimaalselt 1,5 – 2 m;
3. oluline on, et vibraatorit ei kasutata valubetonibetooni teisaldamiseks;
4. betooni tihendamise läbiviimisel on kasutatava vibraatori normaalasend vertikaalne, sest horisontaalasendis asuv vibraatoriotsik ei tihenda, vaid hoopiski põhjustab kihistumist;
5. valubetooni vibreerimisaeg peab olema piisav, kuid see ei tohi olla liiga pikk, nt 250 mm paksusega betoonplaadil on vastav aeg 10 s;
6. nendel juhtudel kui betoonivalu teostatakse mitme kihina, tuleb alati jälgida, et vibraatori otsik vajub raskusjõu mõjul läbi konkreetse tihendatava kihi alumisse kihti vähemalt 200 mm ulatuses;
7. valubetooni tihendamisel horisontaallõikes teostatakse tihendamine ruudustikuna, mille külgede pikkus on 400...600 mm.

Vertikaalkonstruksioonide, samuti ka paksemate (massiivsemate) plaatkonstruktsioonide, betoneerimisel on soovitatav betooni uuesti tihendada ehk järel vibreerida enne kivistumist ja siduvuse teket. Viidatud meede aitab ära hoida betooni kihistumist raskusjõu mõjul, millest tulenevalt võib betoonpind praguneda ning on puudulik nake sarruse ja betooni vahel (Laur ja Lill 2017).

Betooni tihendamise järel tuleb järelhooldusega alustada võimalikult kohe, et tagada betooni niiskuse ja temperatuuri püsimine piisavana projekteeritud betooni omaduste saavutamiseks. Järelhoolduse kestvus täpsustatakse sõltuvalt keskkonna tingimustest, betooni kivinemise kiirusest ja ettenähtud survetugevusest. Toetus ja raketise toimivus ja eemaldamine ei tohi rikkuda või kahjustada alalise ehitise kuju, otstarbekohasust, välisilmet ega kestvust (Laur ja Lill 2017).

Lõputöö olulise aluse moodustava ehitusprojekti seletuskirjas on ära märgitud, et betoontarindite raketiste eemaldamine ja sellele järgnev konstruktsioonide koormamine võib toimuda peale seda, kui konstruktsioonide betooni tugevus on saavutanud 70% projekti järgsest tugevusest. Konstruktsioonide koormamisel tuleb arvestada, et 100% koormuse rakendamisel peab konstruktsioonide kandevõime samuti olema saavutanud 100%.

Kindlasti ei tohi ära unustada ehitusobjektidel töötades läbiviidavate tehnoloogiliste toimingute tööohutust, mida Eesti Vabariigis reguleerib seadus „Töötervishoiu ja tööohutuse nõuded ehituses” (Töötervishoiu ja tööohutuse nõuded ehituses 2019) ning samuti Euroopa Nõukogu direktiiv 92/57/EMÜ (Direktiiv 92/57/EMÜ 1992). Seaduse järgi tuleb kõikidel ajutistel ja korralistel töödel rakendada selliseid töökaitsemeetmeid, et töölised, tavakodanikud ega keskkond ei oleks ohustatud.

Ehitustööde teostaja personal peab olema tööohutuse alal instrueeritud. Ohutusjuhendid peavad olema allkirjastatud iga tööde teostamisel kasutatava isiku poolt. Tööettevõtu läbiviija peab läbi viima regulaarseid ohutusosalaseid instrueerimisi tööohutuse parendamiseks töövõtja kontrolli all olevatel ehitusplatsidel. Töövõtja peab ametisse nimetama tööohutuse eest vastutava isiku²³ ning kõik tuvastatud tööohutusalsed rikkumised tuleb kajastada igakuises aruandluses, kusjuures ehitusplatsikoordinaator võib pädeva isikuna teha asjakohase kande ehituspäevikusse.

Ajutistel ega lõpetatud töödel ei tohi olla omadusi, mis ohustaksid hooldepersonali või teisi vastavat juurdepääsuõigust omavaid isikuid. Ohutuse tagamise eesmärkidel peavad olema rakendatud vajalikud kaitsepiirded, elektriohutuse vahendid, termoisolatsioon, mürasummutusvahendid, hoiatussildid, ohutusvärvid ning kasutusele võetud muud sarnased meetmed. Töövõtja rakendab kõiki meetmeid vältimaks võimalikke tulekahjusid objektidel või selle läheduses asuvates hoonetes, jm. Võimaliku tulekahju likvideerimiseks peab olema objektidel piisaval hulgal tulekustutusvahendeid ning prahi või prügi põletamine ei ole lubatud.

Nendel juhtudel, kui objekti läheduses asuvad tule- ja/või plahvatusohtlikud rajatised/seadmed (kütusemahutid jne.) siis informeerib lepinguline ehitustööde teostaja

²³ Kehtivas ehitusvaldkonna tööohutus regulatsioonis nimetatakse seda isikut ehitusplatsi koordinaatoriks ning talle on kehtestatud vastav erialane koolituse nõue.

(peatöö ettevõtja) sellest koheselt tööohutuse eest vastutavat isikut. Samal ajal peab töövõtja rakendama kõiki ettevaatusabinõusid ja järgima kõiki tööohutuse eest vastutava isiku poolt antud juhiseid, seda vältimaks võimalikku tulekahju või plahvatust.

Peatöö ettevõtjaga sarnasel tasemel tuleb ohutustehnika seisukohast informeerida ka kõiki kaasatavaid alltöö ettevõtjaid ning vajadusel ka olulisemaid ressursside tarnijaid.

1.2 Monteeritavate raudbetoonist mahutite paigaldus

Betoonelemente kasutatakse erinevate hoonete ja rajatiste ehitamisel. Enamlevinud tehases valmistatud raudbetoontooted on karkassipostid, riivid, õõnespaneelid, välis- ja siseseinapaneelid ning trepimademed ja –marsid. Raudbetoonelementidest ehitamise suurim eelis võrreldes monoliitsete konstruktsioonidega on ehitamise kiirus. Samuti on võimalik tagada väga hea toodete kvaliteet, kuna elementide valmistamine ja nõuetele vastavuse kontroll viiakse läbi tehases, objektil toimub ainult nende kokku monteerimine. Lisaks eeltoodule on monteeritavate konstruktsioonide kasutamise juures tekkivaks eeliseks see, et ehitustöid saab teostada ka talvisel ajal, sest nende läbiviimise sõltuvus töökeskkonna temperatuurist on ebaoluline.

Raudbetoonist mahutitega seotud ehitustööde teostamiseks, sealhulgas elementide monteerimiseks ei ole vaja eriväljaõpet saanud personali ning jälgima peab vaid seda, et täidetakse eelkõige ehitusplatsi üldiseid töökorralduse reegleid, mis on vajalikud montaažitöödeks. Näiteks peavad olema olemas vajalikud juurdesõiduteed, tööde teostamisel kasutatav tõstemehhanism (rataskraana, tornkraana jms) peab katma kogu vajaliku töötsooni; eraldi on reguleeritud ohutusala ning koostatud montaažitööde ajagraafik.

Monteeritavate elementide paigaldamise (põhielemendid, pikendused, sulgemiselemendid ja katteplaat) paigaldustäpsus ja tolerantsid peavad vastama standardi „Betonkonstruktsioonide ehitamine” (EVS-EN 13670:2010 2011) järgi 1. tolerantsiklassi nõuetele, kui joonisel pole nõutud teistsugust paigaldustäpsust ja/või/kui paigaldatavad betoontooted ise loovad eelduse teistsugusele tolerantsile. Raudbetoontoodete paigaldamisel tuleb arvestada, et paigaldatavate raudbetoonelementide tehnoloogilise

asetuse juures ei tekiks olukorda, kus üksikute elementide hälbed kuhjuvad ja nende summaarne suurus ületab nii paigaldustäpsust kui ka lubatavate tolerantside kogusummat.

Enne raudbetoelementide paigaldustööde algust tuleb kontrollida kohapeal valatud konstruktsiooniosade mõõtmeid ja kõrgusmärke²⁴ (Majandus- ja taristuministri määrus nr. 115 2015). Koostatav geodeetilise mõõdistuse protokoll on sarnaselt teistele ehitustööde teostamise dokumentidele allikas, milline on üks osa kasutusloa taotlemisele esitatavatest ning kuulub elektroonilisele sisestamisele ehtisregistrisse. Oluline on rõhutada, et enne vastava protokolliga teostamist ei tohi teostada järgnevate raudbetoelementide paigaldamisega seotud ehitustehnoloogilisi toiminguid.

Üldistades olulisemaid raudbetoonist elementide paigaldamise meetodeid ning nendega seotud tehnoloogilisi toiminguid (Hirve, et al. 2007); (Beljajev ja Tolstoi 1965); (Chudley, Greeno ja Roger 2005) võib esile tuua rea asjaolusid:

- i. monteeritavate raudbetoelementide paigaldusmeetod tuleb valida selliselt, et valitud meetod ega selle rakendamine ei halvendaks paigaldavate toodete ning kasutatavate materjalide kvaliteeti ja väljanägemist;
- ii. paigaldatavate elementide minimaalselt vajalik toepikkus peab vastama ühelt poolt ehitusprojektile, kehtivatele normidele ning see kuulub täitmisele ilma igasuguste mööndusteta;
- iii. nendel juhtudel, kui konstruktsiooni elementide monteerimine on tehnoloogiliselt keerukas ja/või toimub kahe kraana samaaegne kasutamine ühe elemendi tõstmiseks koostatakse alati eraldi raudbetoelementide montaažiks vajalik ehitustööde teostamise projekt²⁵;
- iv. nendel juhtudel, kui elemendi montaaži käigus selle raskus jaguneb ebavõrdselt, peab asjakohane tööde teostamise projekt seda arvestama (vastavate tõstmiseks vajalike abivahendite kaasamine);

²⁴ Tavapärasel ehitussituatsioonis on sellise kontrolli aluseks pädeva ehitusgeodeedi poolt teostatud, asjakohase klassiga, geodeetiline mõõdistusprotokoll.

²⁵ Siinjuures on oluline markeerida asjaolu, et praegusele ehituskeskkonnale eelnenud ja rakendatud praktika käigus oli välja töötatud rida raudbetoelementide montaaži skeeme (Trust, Orgstroj, EKE Tehnokeskus (ehitustööde teostamine 1986 allikas))

- v. monteeritavate raudbetoonist detailide puhul tuleb tagada nende kinnitamine ja toestamine selliselt, et ajutise nihkejõudude või siis tuule koormuse mõjul ei toimuks nende ümber paiknemist horisontaalselt ega vertikaalselt;
- vi. vaatamata sellele, et eespool nimetatud meetmed välistavad monteeritavate raudbetoonist elementide ruumilise ümber paiknemise tuleb igakordselt eeldatav ohutsoon markeerida. Markeeritavate alade sisse ei jää mitte ainult töö esi vaid ka selle lähim ümbrus, kaasa arvatud juurdesõiduteed ja platsid, kus kõrvaliste isikute viibimine ja muude tööde tegemine on keelatud.

Ajalooliselt välja töötatud monteeritavate raudbetoonelementide paigaldustehnoloogia kehtivust kinnitavad veel mitmed autorid (Litvinov, Alperovitš ja Batura 1984); (Masso 1980); (Несмле 2008). Valdkonnaga seotud tänapäevaseid lahendusi on esitatud Rahvusvahelise Betoonehituse Föderatsiooni poolt kirjastatud (*Fédération internationale du béton*) raamatus (Acker 2014) või siis Zhenhai Guo poolt kirjutatud raamatus „*Principles of Reinforced Concrete*” (Guo 2014).

Monteeritavate elementide vuugid tuleb monoliitida tsoonide kaupa nii nagu seda ehitustööde teostamise projektiga on ette nähtud. Enne paigaldatud raudbetoonist elementide ühenduskohtade monolitiseerimise alustamist peavad ühendatavad pinnad olema puhastatud ehitusprahist, mustusest, lumest jms. Monolitiseerimise teostamisel talvetingimustes tuleb raudbetoonist elementide vuugid ja monoliiditud ühenduskohad katta soojusisolatsiooniga ning neid tuleb soojendada senikaua, kuni paigaldatud raudbetoonist elementide monolitiseerimiseks kasutatud betoon on saavutanud piisava tugevuse ja/või läbikülmumisekindluse. Protsessi kiirendamiseks, sealhulgas külmakindluse tagamiseks ja vajaliku tugevuse kiiremaks saavutamiseks, võib vajadusel kasutada erinevaid lisanditega betoonisegusid.

Montaažitööde vastuvõtmine ja täiendavad tööd on:

1. elementide monteeriija paigaldab ja kinnitab vajadusel ka täiendava soojustuse kohtades, kus see on ette nähtud, ja viimistleb pinnad, kas montaaži käigus või hiljem;
2. tööde lõppedes lõigatakse kõik välispinnal olevad tõsteaasad ja konksud pinnast sügavamalt maha ning süvendid täidetakse tsemendimördiga (vajadusel spetsiaalse remondiseguga). Täidetud alad peavad tugevusomadustelt ja väljanägemiselt olema

ümbritseva pinnaga sarnased. Samuti tuleb täita tõsteavad ja viimistleda eeltooduga analoogselt;

3. kui toode on vigastatud paigaldamisel, kuulub selle parandamine montaažitööde tegija ülesannete hulka. Parandamise meetodid ja materjalid peavad olema tellija poolt heaks kiidetud;
4. mustast terasest konstruktsiooniosade paigaldamisel rikunud roostekaitsevärv tuleb taastada ehitustööde käigus (vajadusel puhastada roostest);
5. montaažitööd võetakse vastu antud tööloigu täieliku lõpetamise järel. Vastuvõtuakt katab nii paigaldatud tooted kui ka montaažitööd (Hirve, et al. 2007).

Poola firma *Ecol-Unicon* on spetsialiseerunud betoonist ja raudbetoonist valmistatud kvaliteetsete kaevude ja mahutite tootmisele. Ettevõtte toodangut kasutatakse eelkõige vihmavee, sanitaar- ja tööstusliku kanalisatsiooni rajamisel.

Käesoleva lõputöö seisukohast vaadeldakse *Ecol-Unicon*'i poolt toodetavaid DZB-mahuteid, mida kasutatakse vee kanalisatsioonisüsteemides järgmiselt:

1. säilitamismahutitena;
2. reovee mahutitena;
3. mahutite süsteemina, mis võimaldab kasutada vihmavett, näiteks kommunalteenuste jaoks, tänavate pesemiseks jne.
4. kuivade kaevudena (pumbajaamade korpused, hüdrofooride seadmestik, veemõõturi kaevud);
5. läga mahutitena;
6. eeltöötlus- ja puhastusjaamadena ning
7. tuletõrje veevõtumahutitena.

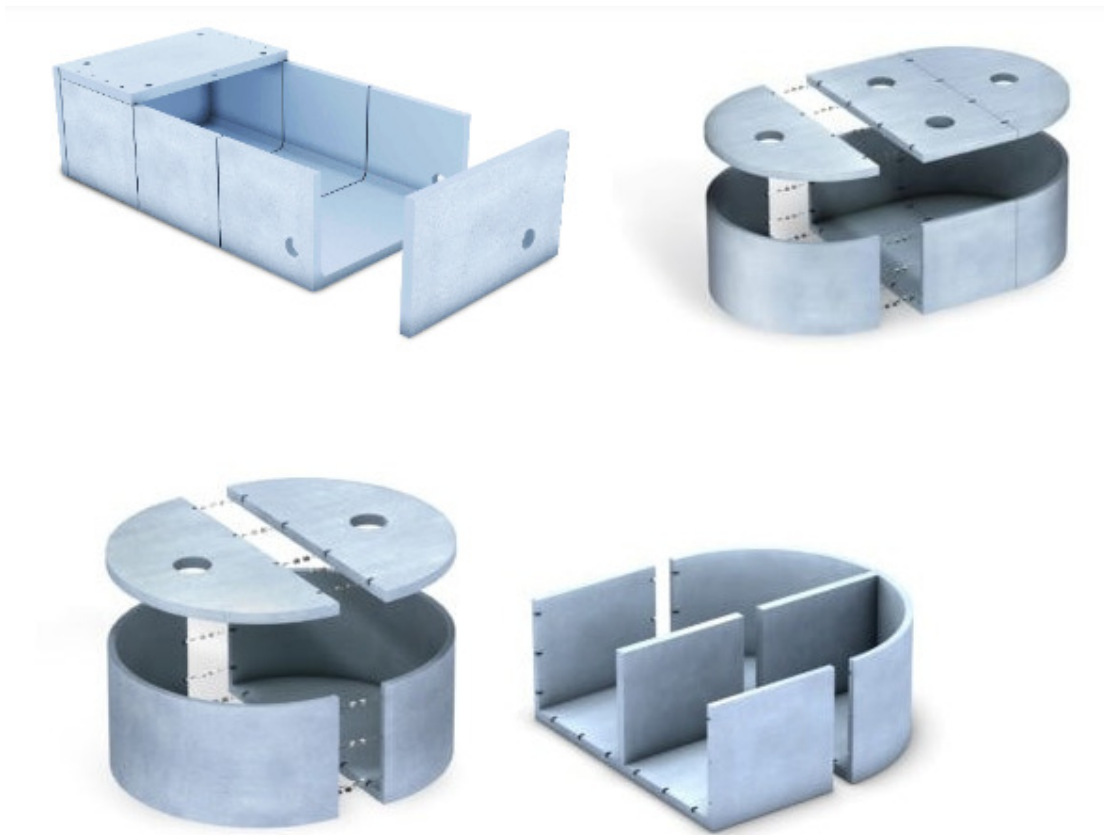
Paljude aastate pikkune kogemus ehitussektoris ja kõrgtehnoloogia kasutamine on võimaldanud täiustada tootmislahendused funktsionaalseteks ja usaldusväärseteks. Kvaliteetsete materjalide kasutamine ja pidev tootmisprotsesside jälgimine kõigis tootmisetappides tagavad toodangu kõrge kvaliteedi, vastupidavuse erinevat tüüpi kahjustustele ja võimaluse kasutada toodetud mahuteid rasketes pinnase- ja veetingimustes.

Kõik *Ecol-Unicon* betoon- ja raudbetoonmahutid on tunnustatud kasutamiseks ehitustoodetena ja vastavad ehitusstandarditele.²⁶ Tänapäevases ehituspraktikas esineb piisavalt olukordasid, kus ühe või teise ehitustoote olemus ja sisu vastab küll Euroopa Liidu direktiivile 89/106 EMÜ (Direktiiv 89/106 EMÜ 1988) ehitustoodete vastavuse kohta, ent toode ise on kaetud ainult tootja maa vastava eriala standardiga ning ei oma veel CE sertifikaati ja EU tehnilist hinnangut (ETA). Selliselt tekib olukord, kus tulenevalt vastava EU harmoniseeritud standardi puudumisest on üldtingimustele vastav toode kasutatav ainult tootja riigis. Nendel juhtudel on asjakohane lisada tootja riigi poolset vastavuskinnitused, mis nii või teisiti on vajalikud toote tulevasel varustamisel CE sertifikaadiga.

Kvaliteetsete betoontoodete kasutamise eelised on nende tugevus ja omakaal, mis tagab vastupidavuse tervele konstruktsioonile paljudeks aastateks. *Ecol-Unicon* pakub laia valikut betoonkaevusid ja mahuteid, millede esmane karakteristik kaevudel on siseläbimõõt D_{int} vahemikus 1000-6000 mm. Monteeritavad mahutid on ovaalse ja riskülikukujulise ristlõikega toodetegrupp, mis on valmistatud raudbetoonist vastavalt Poola standardile PN-EN 206-1 „*Nowy wymiar jakości betonu*”²⁷. Mahutite siseläbimõõt D_{int} on vahemikus 4600-8000 mm, sisekõrgus kuni 6 meetrit ja mahuti pikkus kuni 200 meetrit. Võimalik on ehitada mahuteid mahuga kuni 8000 m³, erinevalt PE-mahutitest, mille maksimaalne mahutavus on 60 m³. Iga mahuti koosneb põhi-, pikendus- ja sulgemiselementidest ning kaanest, mida illustreerib alljärgnev Joonis 1.4.

²⁶ Selline vastavus on eelkõige tootjariigi põhine ning juhul kui toote puhul on kehtestatud ka Euroopa Liidu harmoniseeritud standardid, siis on oluline vastavus ka nendele.

²⁷ Eestis on kasutusel sama standardi Eesti versioon EVS 206:2014



Joonis 1.4. Mahutite erinevad elemendid. (Ecol-Unicon 2019)

Antud mahuteid on võimalik valmistada objektipõhiselt (Lisa 1), kuna on võimalik valida valmistamiseks kasutatavat betooni klassi ja toote mõõtmeid. Samuti saab neid mahuteid varustada roostevabast terasest treppide või redelitega, sisemiste vaheseintega, äravoolutorude jms.

Sõltuvalt asukohast ja reovee agressiivsusest võivad monteeritavate mahutite välis- või sisepinnad olla kaetud kaitsekihiga, nt vee-, happe- või õlikindla kihiga. Mahutite vertikaalsete elementide vaheliste ühenduste lekkekindluse tagab tihendite ja terasühenduste kasutamine, horisontaalsete ühenduste lekkekindlus tagatakse tihendite abil.

Enne monteeritavate elementide paigaldamist peab olema ettevalmistatud süvendis tihendatud killustikalus paksusega 300 mm. Killustikaluse elastsusmoodul on $E=140$ MPa ning see ehitatakse killustikust fraktsiooniga 16-32 mm ning kiilutakse killustikuga fraktsioon 8-16 mm.

1.3 Polüetüleen mahutite paigaldus

Sarnaselt monoliitsete ja raudbetoonist mahutite projekteerimisele tuleb ka PE-mahutite kavandamisel arvestada kõikide esinevate koormustega, nii ajutised- kui ka kasutamisaegsed koormused, millised tulenevad standardist EVS-EN 1991-4:2006 „Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 4: Puiste- ja vedelikmahutite koormused.” (EVS-EN 1991-4:2006 2006).

Tehases valmistatud septikutele esitatavad nõuded on määratud standardis „Reovee väikepuhastid kuni 50IE. Osa 1: Tehases valmistatud septikud” (EVS-EN 12566-1:2016 2017). Tehaselise valmidusega mahutite tehnoloogilised iseärasused on seotud nende valmistamiseks kasutatud materjaliga, st kasutatud on kas polüetüleeni või klaasplasti.

Klaasplasti kasutamine ei too kaasa reovee käitlemise tehnoloogilisi erinevusi, kuid siinjuures tuleb arvestada seda, et klaasplastist mahutid ei ole konstruktiivselt nii tugevad, kui seda on PE-mahutid. PE-mahutite materjal võrreldes klaasplastiga on elastne ning vastupidav. Samal põhjusel on polüetüleen kasutusel erinevate septikute, mahutite, kaevude, pumplate ja survetorude materjalina. PE-mahuti korpus on topelt seinaga, mis annab lisaks täiendava lekkekindluse. Käesolevas lõputöös kontsentreeritakse tähelepanu eelkõige PE mahutitele tänu nende suuremale levikule ja töökindlusele.

Siinkohal aset leidev mahutite transpordi, käsitlemise, ladustamise ja paigaldamise kirjeldus on reguleeritud standardiga „Klaasplastist allmaamahutid. Horisontaalsed silindrilised rõhuvabad mahutid vedelate naftabaasiliste kütuste säilitamiseks. Osa 2: Ühekihilise seinaga mahutite vedu, käsitlemine, ladustamine ja paigaldamine” (EVS-EN 976-2:2000 2000). Kaevik mahuti paigaldamiseks tuleb kaevata 1–1,2 meetrit pikem ja laiem kui on mahuti mõõdud. Seda põhjusel, et kaevikusse paigaldatud mahuti ümber jääks 0,5–0,6 m ruumi tagasitäite materjali tihendamiseks (Joonis 1.5 tähistatud b^{28}). PE-mahutite paigaldussügavuseks arvestatakse mahuti sissevoolu sügavust maapinnast.

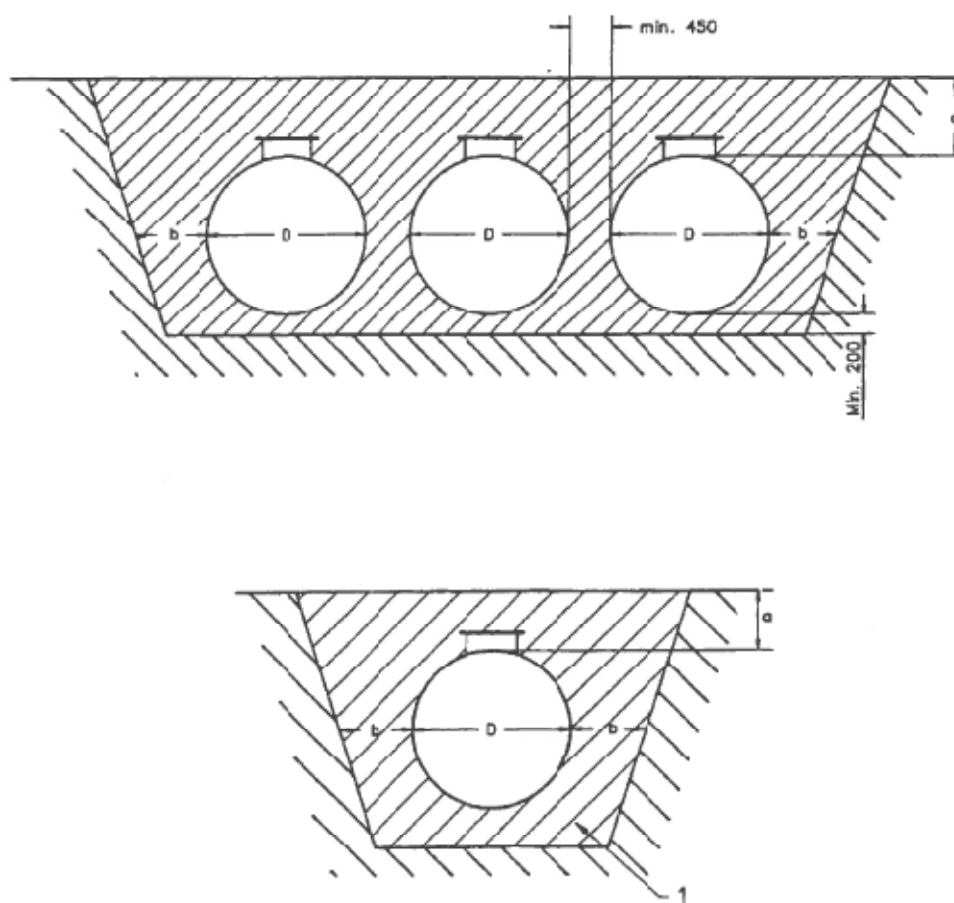
Mahuti kaeviku põhi täidetakse 300 mm paksuse tagasitäite (Joonis 1.55 tähistatud I^{29}) kihiga, mis tihendatakse 95%-ni standardtihedusest. Nendel juhtudel kui paigaldatava mahuti ankurdamiseks kasutatakse betoonist alusplaati, tuleb mahuti ja alusplaadi vahele

²⁸ *Italic*-töö autori tahtlik rõhutus

²⁹ *Italic*- töö autori tahtlik rõhutus.

jätta minimaalselt 200 mm paksune tagasitäite liivakiht. Mahutit on keelatud paigaldada otse monoliitsest betoonist alusplaadile, st. paigaldatav mahuti peab alati olema sängitatud liivakihti.

Tavatingimustes (pinnasevee tase ei tõuse kõrgemale kui 0,5 m mahuti põhjast) piisab mahuti väljakerkimise vältimiseks pinnasekihi paksusest mahuti peal, mis on võrdne 0,7 kordse mahuti läbimõõduga (Joonis 1.55 tähistatud a^{30}). Õhema pinnasekihi või kõrge pinnasevee taseme korral ankurdatakse mahuti pinnasesse. Eelnevalt lahti seletatud mahutite kaevikusse paigaldamise nõudeid illustreerib Joonis 1.55.



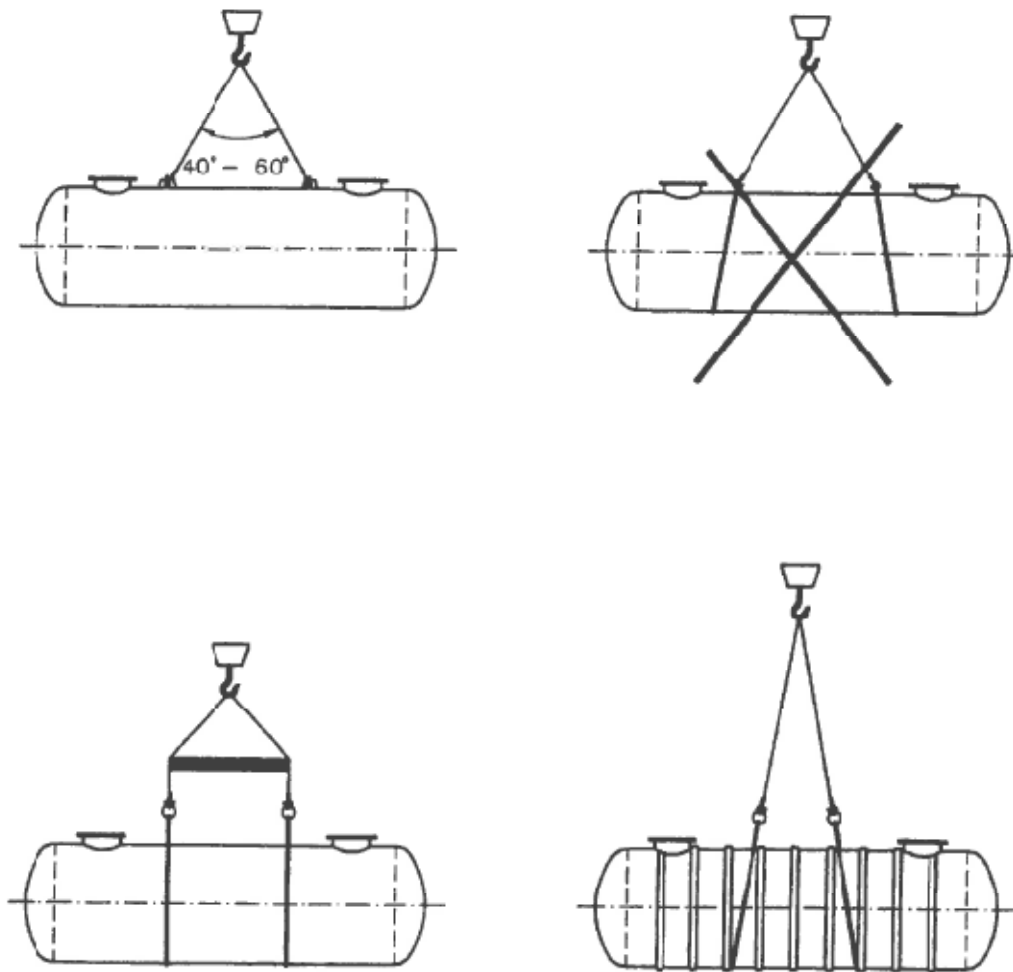
Joonis 1.5. Mahutite paigaldussügavus, eestvaade. (EVS-EN 976-2:2000 2000)

Mahutite tõstmiseks kasutatakse mahuti küljes olevaid tõsteaasasid ning tõstepunkte peab olema alati vähemalt kaks. Tõstmiseks tuleb kasutada tõsterihmasid ja oluline on

³⁰ *Italic*- töö autori tahtlik rõhutis

tähelepanu pöörata sellele, et tõsterihmadega ei vigastataks mahuti väljaulatuvaid osi, kusjuures terastrosse ja -kette ei tohi tõstmiseks ümber mahuti korpuse kinnitada. Tehaselise valmidusega PE-mahutite tõstmist nende paigaldamise käigus on illustratiivselt kujutatud Joonis 1.6.

Peale mahuti kaevikusse tõstmist tuleb veenduda, et paigaldatav mahuti asetseb horisontaalselt ning et see toetub täies pikkuses aluspinnale. Mahuti toetusjalgade alla tuleb teha väike süvend, et mahuti ei jääks nendele toetuma.



Joonis 1.6. Mahutite tõstmine. (EVS-EN 976-2:2000 2000)

Mahuti kaevik täidetakse kõikidest külgedest 300 mm paksuste kruusa või killustiku kihtide kaupa, igit kihti tihendades 95%-ni pinnase looduslikust tihedusest. Mahutisse tuleb valada paralleelselt tagasitäitetöödega vett kuni hetke tagasitäite tasemeni. Mahuti

külgede ja otste alt ning torustiku ühenduskohtade juures tuleb tihendamine teostada erilise hoolikusega, et vältida tühikute jäämist.

Täitematerjalideks sobivad kruus, osakeste suurusega mitte alla 3 mm ega üle 20 mm ja killustik, mille osakeste suurus ei tohi olla alla 3 mm ega üle 16 mm. Materjal peab olema puhas, vabalt voolav ning ei tohi sisaldada jääd, lund, savi, orgaanilisi materjale ega liiga suuri ja raskeid kehasid, mis võivad langedes mahutit kahjustada. Minimaalne puistetihedus on 1500 kg/m³.

Tagasitäite materjalina ei ole soovitatav kasutada liiva või välja kaevatud looduslikku pinnast, kuna liiva ja loodusliku pinnase puhul ei ole tagatud täitematerjali püsimine (võib toimuda ära uhtumine) aja jooksul, mille tulemusena väheneb pinnase tugi ära uhutud täitematerjaliga kohas mahutil ning mahuti võib sellel kohal hakata deformeeruma.

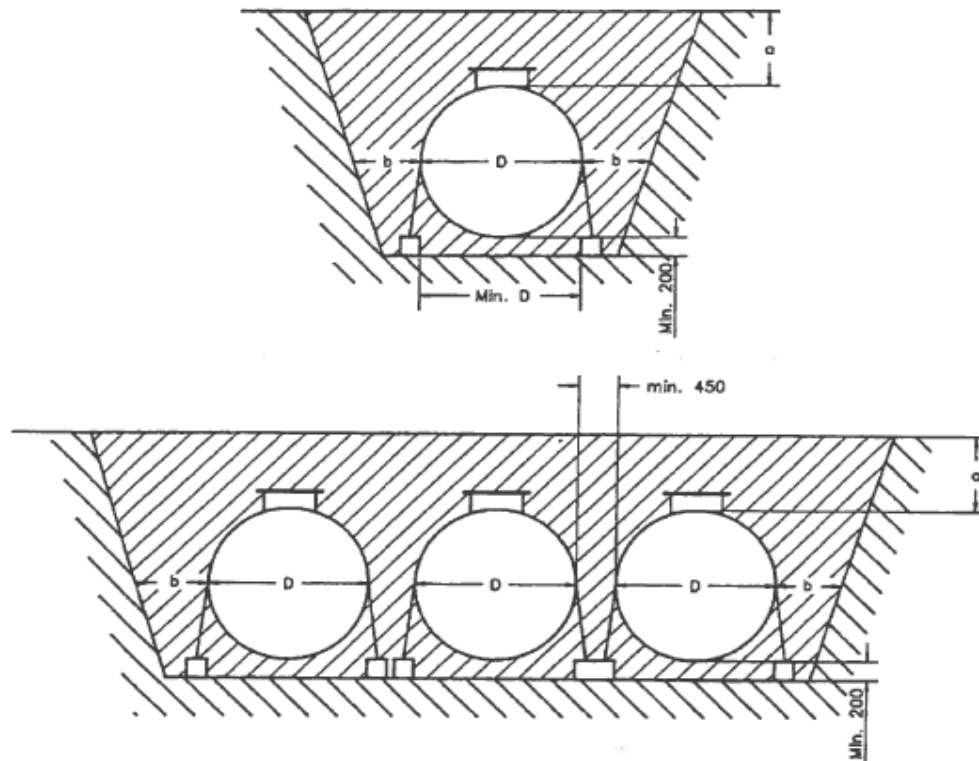
Paigaldades mahuti haljasalale, tuleb jälgida, et teenindusava luuk ulatuks vähemalt 100 mm üle maapinna, mis välistab sadevee ja/või lume sulamisvee sattumise mahutisse.

Ebastabiilse pinnase või kõrge pinnasevee korral tuleb vältida tagasitäitmisel ehitusliiva kasutamist. Juhul kui süvendi tagasitäitmine on jõudnud sissevoolutoru kõrguseni, tuleb mahuti ühendada kanalisatsioonitoruga ning tihendada toru ümbrus. Peale seda kui süvendi tagasitäitega jõutakse lõplikule kõrgusele, lõigatakse teenindusava soovitud kõrgusesse, paigaldatakse plastluuk või teleskoopiline malmluuk.

Ilma täieliku tagasitäite kattekihita paigaldatud mahuti võib pinnasevee mõjul kohalt nihkuda, mille vältimiseks tuleb kaeviku täitetööde katkestuste korral täita mahuti veega. Pinnasevee üleslükkejõu neutraliseerimiseks ja mahuti kohakindla püsimise tagamiseks tuleb mahuti ankurdada. Üleslükkejõu vastukaalu arvutamisel arvestatakse maksimaalse võimaliku pinnasevee kõrgusega (kõige kindlam on arvestada pinnasevee taset maapinnani) ja tühja mahuti kaaluga, st et pinnase üleslükkejõud võrdsustatakse mahuti mahu kaaluga.

Mahuti ankurdamist võib teostada, kas betoonplaadi või -plokkidega. Mahuti ankurdamiseks tuleb kasutada mittemetallist ankurdusrihmasid (nailon vms materjal). Rihmad peavad vastu pidama pinnase keskkonnamõjule ja mahutile mõjuvale üleslükkejõule. Betoonplokkide ja -plaadi metallist ankurduspunktid peavad olema korrosioonikindlad.

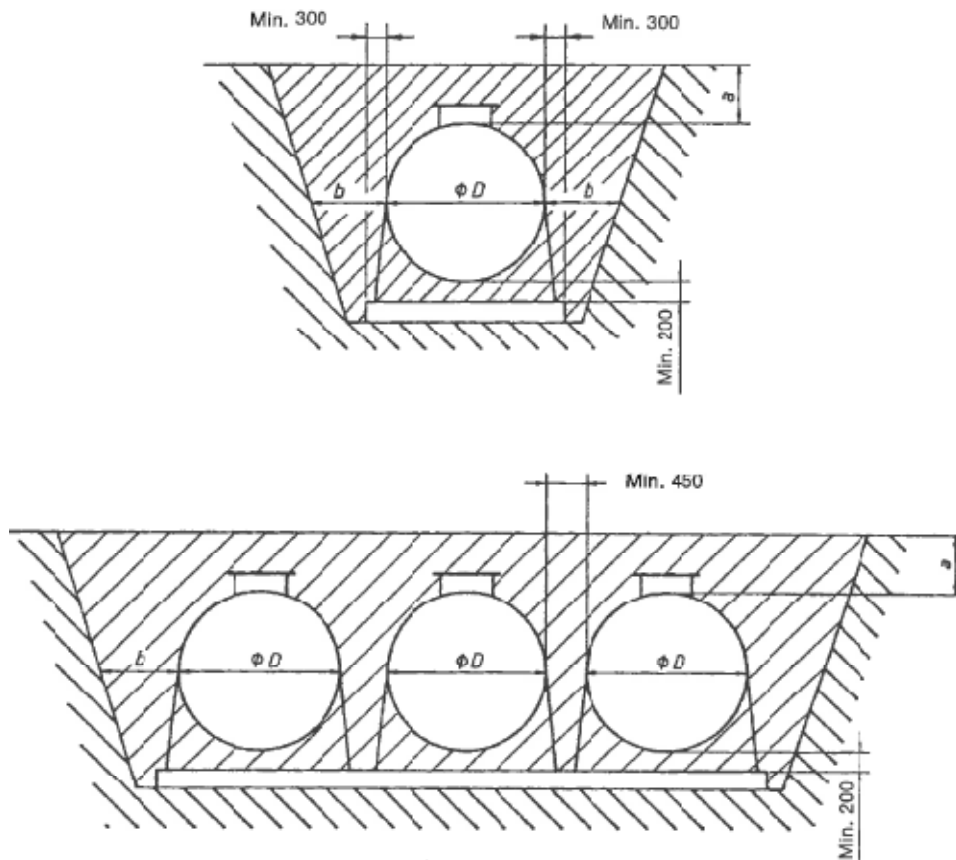
Plokkidega ankurdamiseks on vaja minimaalselt 2 plokki, mis asetsevad mahuti mõõtudest väljaspool. Plokid peavad olema piisavalt suured, et takistada mahuti väljakerkimist. Iga plokk tuleb mahutiga ühendada vähemalt kahes ankurduspunktis. Mahuti stabiliseerimiseks kasutatavate ankurdusrihmade vahekaugus ei tohi olla suurem kui 1,5 m ning kasutada tuleb vähemalt kahte rihma. Eelnevalt lahti seletatud betoonplokkidega ankurdamise nõudeid illustreerib Joonis 1.7.



Joonis 1.7. Betoonplokkidega ankurdamine. (EVS-EN 976-2:2000 2000)

Betoonplaadiga ankurdamisel peab kasutama 200 mm paksust sarrustatud betoonist alusplaati, minimaalse tugevusega 21 N/mm^2 . Alusplaat paigaldatakse horisontaalsele 300 mm paksusele, mehaaniliselt vähemalt 95%-ni standardtihedusest tihendatud killustikust alusele. Nendel juhtudel kui mahuti paigaldamise keskkonnas valitsevad pinnaseolud seda nõuavad, tuleb kasutada sulfaadikindlat betooni. Alusplaat peab ulatuma vähemalt 300 mm mahuti servast kaugemale ja olema mahutiga vähemalt sama pikk. Võimaluse korral tuleb betoonplaadi üleulatus rajada selliselt, et see tagaks kaeves töötamiseks vajaliku tööesi laiuse. Betoonplaadile ankurdamise korral peab mahuti ja alusplaadi vahele jääma

vähemalt 200 mm tihendatud liivakiht betoonplaadi ulatuses. Eelnevalt lahti seletatud betoonplaadiga ankurdamise nõudeid illustreerib Joonis 1.8.



Joonis 1.8. Betoonplaadiga ankurdamine. (EVS-EN 976-2:2000 2000)

Vältimaks liikluse poolt tekkiva koormuse kandumist mahutile tuleb liikluse alla jäävate mahutite peale paigaldada koormusühtlustusplaat. Mahuti peal oleva tagasitäite paksus peab olema vähemalt 500 mm. Tagasitäite kihi peale tuleb paigaldada 150 mm paksune raudbetoonist koormusühtlustusplaat, mis oleks sarrustatud armatuuriga Ø12 mm samm 200x200. Armatuur paigaldatakse betoonplaadi alumise kolmandiku peale. Betoonplaadi alla paigaldatakse kile, mille eesmärgiks on kaitsta raudbetoonist ühtlustusplaati alt tuleva niiskuse eest.

Ühtlustusplaat on arvestatud koormusele vertikaalse koormuse redutseerimiseks vajalik ühtlustusplaat rajatakse selliselt, et see on arvestatud koormusele vähemalt 40 T/m²³¹. Ühtlustusplaat peab olema mahuti läbimõõdust ja pikkusest vähemalt 1000 mm suurem.

³¹ Suurus on võetud paigaldusjuhendist.

Liiklusega koormatud alal tuleb mahuti alati varustada malmist luugiga, mis on teleskooptoru abil ühendatud mahuti teenindusavaga. Niimoodi välditakse liikluskoormuse edasikandumist teenindusavale.

2 OBJEKTI ÜLDISELOOMUSTUS

2.1 Ehitatava objekti ülevaade

Vihula valla arendamise kavas oli ette nähtud, et aastatel 2016-2027 teostatakse Vihula valla reoveekogumisalades ühisveevärgi ja –kanalisatsioonisüsteemide arendamine SA Keskkonnainvesteeringute Keskuse (SA KIK) keskkonnaprogrammi toetuse abiga. Aastal 2016 SA Keskkonnainvesteeringute Keskuse nõukogu otsusega otsustati kaasrahastada keskkonnaprogrammist OÜ Vihula Valla Veevärgi projekti "Võsupere ja Palmse külade ühisveevärgi- ja -kanalisatsioonisüsteemide rajamine".

Projekti tellijaks oli Vihula Valla Veevärk OÜ. Keskkond & Partnerid OÜ koostas projekti Võsupere ja Palmse külade reoveepuhasti rajamiseks.

Võsupere ja Palmse külade eramajades elab 62 inimest ja neljas kortermajas kokku 64 inimest. Lisaks tegutsevad külades veel järgmised ettevõtted: Palmse metall, *Canter Invest*, MTÜ Viru Koda, Palmse renditalu ja Mehaanikakoda. Võsupere külas ühiskanalisisatsioon puudus.

Projekti koostamisel võeti aluseks, et Võsupere ja Palmse külade perspektiive reoveeteke on järgmine:

- keskmine hüdrauliline koormus: $Q_{kd} = 67 \text{ m}^3/\text{d}$
- maksimaalne hüdrauliline koormus: $Q_{maxd} = 99 \text{ m}^3/\text{d}$
- reostuskoormus: $R = 406 \text{ ie}^{32}$

Võsupere ja Palmse külades on moodustatud ühine reoveekogumisala (RKA0590228). Reoveekogumisala pindala on 28,3 ha ning reostuskoormus 531 ie.

Vastavalt Eesti põhjavee kaitstuse kaardile on põhjavesi projektpiirkonnas kaitsmata ja nõrgalt kaitstud. Vastavalt Veeseaduse¹ (RT I 1994, 40, 655) §-le 26(13) arvestatakse

³² ie e. inimekvivalent on ühe inimese põhjustatud keskmise ööpäevase tingliku veereostuskoormuse ühik.

põhjaveekihi kaitstuse hindamisel pinnakatte koostist ning kõiki põhjaveekihi kohal lasuvaid veepidemeid ja põhjaveekihi kaitstuse järgi jagunevad alad³³ järgmiselt:

1. kaitsmata (väga reostusohklikud) alad. Põhjavesi on kaitsmata nii orgaaniliste kui mineraalsete reoainete suhtes, pinnakatte paksus kuni 2 m. Saasteainete infiltratsiooniaeg kuni 30 ööpäeva.;
2. nõrgalt kaitstud (reostusohklikud) alad. Moreeni kihi paksus on valdavalt 2-10 m või savipinnase (savi, liivsavi) paksus kuni 2 m. Reoainete infiltreerumise aeg on arvutuslikult 50-200 ööpäeva (Veeseadus 2017).

Vastavalt Vabariigi Valitsuse määrusele nr 171 „Kanalisatsiooniehitise veekaitsenõuded³⁴“ peab väike reoveepuhasti (50-2000 ie) toimimisaeg olema 30 aastat³⁴. (Kanalisatsiooniehitiste veekaitsenõuded 2010) Suurpuhastite puhul sätestab määrus toimivus ajaks 50 aastat ning bioloogilisel põhimõttel töötavatele puhastitele vähemalt 15 aastat.

Reoveepuhasti kinnistule ehitatakse uus aktiivmudapuhasti. Kõik mahutid tehakse monoliitsest raudbetoonist ja need moodustavad ühtse ploki. Mahutite peale ehitatakse tehnohoone.

Reovee puhastamine toimub mehaaniliselt automaatses võreseedmes ning bioloogiliselt aktiivmudapuhastis. Aktiivmudaprotsess toimub kestusõhustuse režiimil. Fosforiärastus toimub keemilise sadestamise teel. Puhastist väljub heitvesi juhitakse suublasse. Protsessi käigus tekkinud liigmuda kogutakse mudamahutisse, kus see tiheneb. Mudamahutis tihenendud muda tahendatakse ning viiakse ära edasisele käitlemisele suurema reoveepuhasti juurde (nt Võsu reoveepuhasti).

Reovee puhastamine toimub järgmistes etappides:

1. mehaaniline puhastus võreseedmes;
2. bioloogiline puhastus eeldenitrifikatsiooniga³⁵ aktiivmudaseadmes;
3. lämmastikuärastus nitrifikatsiooni³⁶- ja eeldenitrifikatsiooniprotsessi käigus;

³³ Töö autor on koondanud loetellu ainult käesoleva lõputöö sisuga seotud põhjaveekihi kaitstuse järgi jagunevad alad.

³⁴ Määruses nimetatud toimivus aega võib lugeda samaseks mõistega hoone või rajatise kavandatud eluiga, mis nii ehk teisiti viitab kasutusotstarbe põhisele ning ehitusprojektiis sätestatud funktsionaalsuse kestvusele.

³⁵ Reovee segamine hapniku vaeses keskkonnas (hapniku sisaldus alla 0,5mg/l).

4. fosforiärastus keemilise sadestamise teel, lisaks mõningane bioloogiline ärastus ning
5. jääkmuda käitlemine toimub viisil, et jääkmuda tihendatakse mudamahutis (vt. lk. 38).

Reoveepuhasti ehitustehniline kompleksus koosneb järgmistest olulistest elementidest:

1. tehnohoone;
2. aktiivmudapuhasti;
3. ühtlustusmahuti kubatuuriga $V = 32,4 \text{ m}^3$;
4. anoksiline kamber³⁷ mahuga $V = 36,0 \text{ m}^3$;
5. õhustuskamber mahuga $V = 60,8 \text{ m}^3$;
6. järelsetiti pinnaga $A = 9 \text{ m}^2$;
7. muud mahutid;
8. mudatihendusmahuti kubatuuriga $V = 20,5 \text{ m}^3$.

Reoveepuhastuse bioloogiline protsess viiakse läbi raudbetoonmahutisse rajatavas ühtlustusmahutis, aeratsioonimahutis ja järelsetitis, mis on teineteisest eraldatud vaheseintega. Reoveepuhasti rajatakse hoonesse, kogu reoveepuhastuse protsess, sh. mudatihendamine, viiakse läbi kinnises hoones. Kõik mahutid on ettenähtud maa-alused, nende kohal paikneb tehnohoone.

Tehnohoonesse paigaldatakse automaatvõre, reovee- ja tagastus-/liigmuda pumbad, õhukompressor, fosfori keemiliseks sadestamiseks vajalikud seadmed ning elektri- ja automaatikaseadmed. Elektri-, automaatika- ja kaugjälgimisseadmed paigaldatakse reoveepuhasti tehnohoones eraldi ruumi, liigmudatihendi kohale, selliselt, et reovee vabapinda³⁸ ruumis ei esineks.

Reovesi juhitakse puhastisse isevoolsest, see tähendab puhastiteeninduspiirkonna heitvesi kanaliseeritakse kasutades selleks isevoolset kanalisatsioonitorustikku. Reovee mehaaniline eelpuhastus viiakse läbi ühtlustusmahuti ning sellele järgneva võre abil.

³⁶ Hapnikuga rikastamine lämmastikust vabanemiseks.

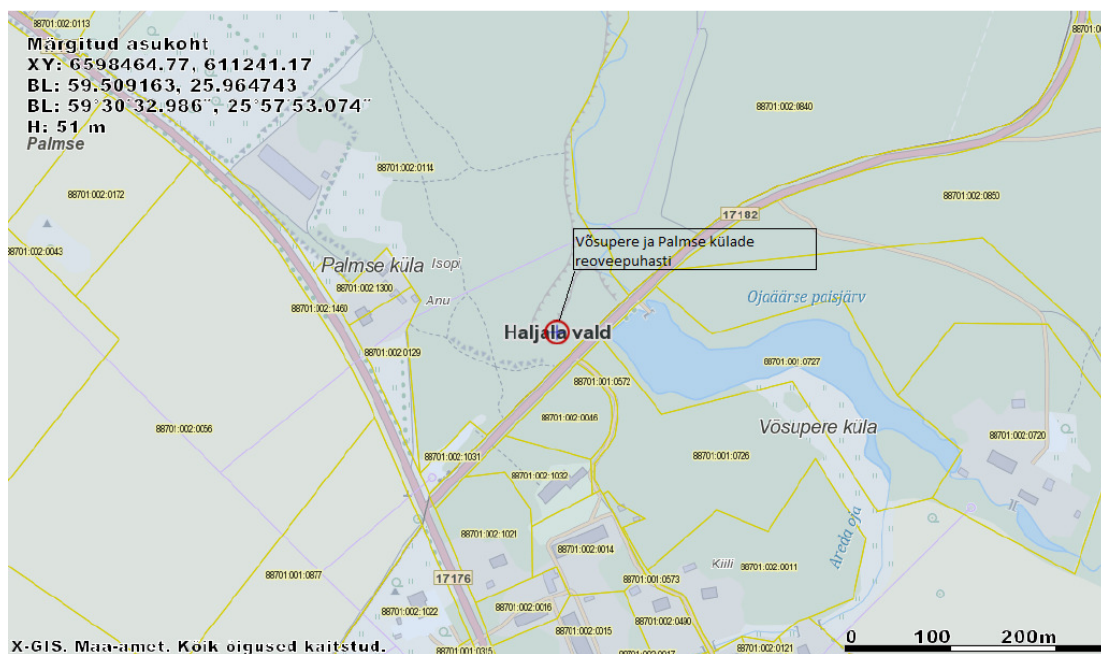
³⁷ Anoksilises kambris toimub juurdetuleva reovee ja puhastis ringleva vee segunemine ning denitrifikatsiooniprotsess.

³⁸ Liigmudatihendi töö jälgimiseks mõeldud vaatlusluuk ei või paikneda elektroonikaga ühes ruumis.

Puhastist väljuv heitvesi juhitakse läbi vooluhulgamõõtja isevoolse kanalisatsioonitorustiku abil Võsu jõkke.

2.2 Objekti asendiplaan

Planeeritud uus individuaallahendusega aktiivmudapuhasti rajati SA-le Virumaa Muuseumid kuuluvale Moonaka kinnistule, katastri nr. 88701:002:0114 (Joonis 2.1), millel asub Palmse mõis. Reoveepuhasti rajati mõisa parki, millest tulenevalt oli ettekirjutus, milline peab välja nägema reoveepuhasti tehnohoone. Eeltoodule lisaks tuleb arvesse võtta veel üks kitsendus, mis on seotud Palmse mõisa asukohaga- nimelt asub eelpool nimetatud mõis Lahemaa rahvusparki alal, mis on teatavasti kaitseala ja kõik seal teostatavad ehitustegevused kuuluvad Keskkonnaametiga kooskõlastamisele.



Joonis 2.1. Võsupere ja Palmse küla reoveepuhasti asendiplaan. (Maa-amet)

Ehitatud reoveepuhasti juurde pääsemiseks tuli ehitada maha sõit riigimaanteelt nr. 17182 (Palmse-Sagadi tee) 0,19 km-l. Projekteeritud maha sõit on esitatud seletuskirja joonisel AS-4-1 (Lisa 2).

Reoveepuhasti teenindamiseks tuli ehitada teenindusplats. Teenindusplatsi ehitusel lähtuti Majandus- ja taristuministri määrusest nr 101 „Tee ehitamise kvaliteedinõuded“ (Tee ehitamise kvaliteedi nõuded 2016).

Reoveepuhasti teenindusplats rajati asfaltkattega. Uue asfaltkatte ehituseks tuli esmalt eemaldada kasvupinnas ning täita vajalikus mahus mineraalmaterjaliga. Seejärel tuli teha minimaalselt 30 cm paksune drenkiht ($k = 0,5 \text{ m/d}$). Selle peale paigaldati 20 cm paksune killustiku kiht (fraktsiooniga 16...32 mm, kiilutud fraktsiooniga 8...12 mm kuluga 25 kg/m^2). Asfaltkatte killustikaluse elastsusmoodul $E/3$ peab olema vähemalt 170 MPa. Tihendatud killustikalusele paigaldati ühekihiline asfaltkate paksusega 5 cm (AC16 surf). Reoveepuhasti ümber tuli ehitada piirdeaed kõrgusega 1,5 m. Aiapostid tehti terasest ning värviti ning selle külge paigaldati vertikaalsed puidust lipid. Aia alt peab olema võimalik trimmerdada. Aeda pääsemiseks rajati 1 m laiune jalgvärv ning 4 m laiune kahepoolne tiibvärav. Väravad on lukustatavad ning nende lukud sarjastati kooskõlastatult OÜ-ga Vihula Valla Veevärk.

Reoveepuhasti ehitamiseks tuli reoveepuhasti alal paiknevad puud eemalda (raadada) ning käidelda nõuetekohaselt. Territooriumi pinnas planeeriti vastavalt ehitusprojekti osale „Vertikaalplaneering“.

3 TEOREETILINE MONOLIIT-, MONTEERITAV RAUDBETOON JA POLÜETÜLEEN MAHUTI PAIGALDUSMAHTUDE JA MAKSUMUSE VÕRDLUS

3.1 Võimalike konstruktsioonitüüpide variandid

Võsupere ja Palmse reoveepuhasti ehituse paigaldusmahtude ja maksumuse võrdlemiseks on arvutused tehtud kolme erineva konstruktsiooni tüübi järgi:

1. monoliitraudbetoonist mahuti;
2. monteeritavast raudbetoonist mahuti ning
3. PE-mahuti.

Võsupere ja Palmse reoveepuhasti ehitusmahtude ja maksumuse hindamisel on töö autor arvesse võtnud vaid konkreetset mahutite ehitusega seotud ehitustööde mahud. Analüüsimisel kasutatud ehitusmahtude hulka on arvestatud ka puhasti tööks vajalike seadmete maksumus ja nende paigaldus, kuna olenevalt mahutite materjalist, muutub ka vajaminevate seadmete hulk, mis võib oluliselt mõjutada kogumaksumust.

Tööde mahu ja maksumuse võrdlusel on välja jäetud tehnohoone ehitus, mille suurust ja maksumust oluliselt ei mõjuta valitud mahuti tüübi konstruktsioon. Samuti ei ole eraldi arvestatud tööjõu kulu, see on arvestatud juba töö hinna sisse koos vajalike materjalide maksumusega.

Esimese võrreldava variandina on teostatud analüüsi käigus arvatud vaadeldud objekti (baasobjekti) reaalne ehitusmaht ja -maksumus, ehitades reoveepuhasti mahutid monoliitsest raudbetoonist, arvestades seejuures ehitusturul valitsevaid hetke ehitushindasid. Kõigi kolme variandi edasiseks võrdlemiseks on töö autor läbi viinud ehitustööde mahtude teatud grupeerimise ja nende sisu ühtlustamise. Arvutatud töömahud ja neile vastavad ehitustööde maksumused on koondatud Tabel 3.1 „Monoliitbetoonist mahuti ehituskulud”.

Tabel 3.1. Monoliitraudbetoonist mahuti ehituskulud

Kood	Kirjeldus	Ühik	Kogus	Ühiku maksumus	Summa
1	2	3	4	5	6
A	Lammutustööd ja ettevalmistustööd				
A1	Puude raadamine	m ²	700	5	3 500
A2	Kõikide lammutusjääkide äravedu ja nõuetekohane utiliseerimine	kogum	1	1 000	1 000
B	Pinnasetööd ja alused				
B1	Reoveepuhasti alt kasvupinnase koorimine	m ²	150	3	450
B2	Reoveepuhasti mahutitele süvendi kaevamine (geomeetriline maht)	m ³	400	3	1 200
B3	Reoveepuhasti mahutitele killustikaluse tegemine (geomeetriline maht)	m ³	22	15	330
B4	Reoveepuhasti mahutite ümber tagasitäite tegemine (geomeetriline maht)	m ³	200	5	1 000
B5	Pinnase planeerimine	m ²	700	3	2 100
C	Betoonitööd				
C1	Mahutitele monoliitse r/b põrandaplaadi (sh. armatuuri paigaldamine)	m ³	27,6	350	9 660
C2	Mahutitele monoliitse r/b seinte valamine (sh. armatuuri paigaldamine)	m ³	52,0	450	23 400
C3	Mahutitele monoliitsete r/b katteplaatide valamine (sh. armatuuri paigaldamine)	m ³	11,8	450	5 310
C4	Järelsetitisse kaldpinna valamine	m ³	9,5	350	3 325
C5	Mudatihendisse kaldpinna valamine	m ³	4,5	350	1 575
C6	Raudbetoonirenni valamine (liigmuda äraveoks)	kogum	1,0	300	300
D	Metallitööd				
D1	Reoveepuhasti mahutitele luukide paigaldamine, FRP	tk	8	300	2 400
E	Elekter, automaatika ja nõrkvool				
E1	Elektri ja automaatikatööd	kogum	1	62 000	62 000
E2	Reoveepuhasti ühendamine kaugjälgimis- ja juhtimisüsteemiga (Teenuspakkuja ABB)	kogum	1	16 500	16 500
F	Tehnoloogia tööd				
F1	Seadmete paigaldamine	kogum	1	130 000	130 000
F2	Toruarmatuuri paigaldamine	kogum	1	5 000	5 000
F3	Tehnoloogiliste torustike paigaldamine	kogum	1	5 000	5 000
F4	Võsu reoveepuhastile tihenendud muda vastuvõtusüsteemi rajamine	kogum	1	5 000	5 000
				KOKKU	279 050

Tabelis 3.1 „Monoliitraudbetoonist mahuti ehituskulud” moodustavad **160 m³** monoliitsest raudbetoonist reoveemahuti võrreldavad ehituskulud summa suurusega **279 050 EUR**.

Teise võrreldava variandina on teostatud analüüsi käigus arvatud vaadeldud baasobjekti reaalne ehitusmaht ja –maksumus selliselt nagu oleks reoveepuhasti ehituseks kasutatud

PE-mahuteid. Saavutamaks ehitusobjektile vajalikku reoveemahuti mahtu ning luua võrdluse võimalus, kasutatakse PE- mahutite parki, mis koosneb kahest 45 m³ mahutist ja ühest 60 m³ mahutist. Sarnaselt eespool teostatuga on ka selle variandi juures rakendatud ehitusturul valitsevaid hetke ehitushindasid. Arvutatud töömahud ja neile vastavad ehitustööde maksumused on koondatud Tabel 3.2. „Polüetüleen mahutite paigalduskulud”.

Tabel 3.2. Polüetüleen mahutite paigalduskulud

Kood	Kirjeldus	Ühik	Kogus	Ühiku maksumus	Summa
1	2	3	4	5	6
A	Lammutustööd ja ettevalmistustööd				
A1	Puude raadamine	m ²	700	5	3 500
A2	Kõikide lammutusjääkide äravedu ja nõuetekohane utiliseerimine	kogum	1	1 000	1 000
B	Pinnasetööd ja alused				
B1	Reoveepuhasti alt kasvupinnase koorimine	m ²	279	3	838
B2	Reoveepuhasti mahutitele süvendi kaevamine (geomeetriline maht)	m ³	978	3	2 934
B3	Reoveepuhasti mahutitele killustikaluse tegemine (geomeetriline maht)	m ³	84	15	1 257
B4	Reoveepuhasti mahutite ümber tagasitäite tegemine (geomeetriline maht)	m ³	550	5	2 750
B5	Pinnase planeerimine	m ²	700	3	2 100
C	Betoonitööd				
C1	Mahutitele monoliitse r/b põrandaplaadi (sh. armatuuri paigaldamine)	m ³	36,3	350	12 705
C2	Järelsetitisse kaldpinna valamine	m ³	9,5	350	3 325
C3	Mudatihendisse kaldpinna valamine	m ³	4,5	350	1 575
C4	Raudbetoonirenni valamine (liigmuda äraveoks)	kogum	1,0	300	300
D	PE-mahutid				
D1	Mahutid	kompl	1	38 000	38 000
D2	Mahutite transport	kompl	1	2 000	2 000
E	Elekter, automaatika ja nõrkvool				
E1	Elektri ja automaatikatööd	kogum	1	80 000	80 000
E2	Reoveepuhasti ühendamine kaugjälgimis- ja juhtimisüsteemiga (Teenuspakkuja ABB)	kogum	1	16 500	16 500
F	Tehnoloogia tööd				
F1	Seadmete paigaldamine	kogum	1	168 000	168 000
F2	Toruarmatuuri paigaldamine	kogum	1	13 000	13 000
F3	Tehnoloogiliste torustike paigaldamine	kogum	1	13 000	13 000
F4	Võsu reoveepuhastile tihenendud muda vastuvõtusüsteemi rajamine	kogum	1	5 000	5 000
				KOKKU	367 784

Tabelis 3.2 „Polüetüleen mahutite paigalduskulud” moodustavad **160 m³** polüetüleenist reoveemahutite pargi puhul võrreldavad ehituskulud summa suurusega **367 784 EUR**.

Kolmanda võrreldava variandina on teostatud analüüsi käigus arvatud vaadeldud objekti reaalne ehitusmaht ja -maksumus, ehitades reoveepuhasti mahutid Poola firma *Ecol-Unicon* tehasevalmidusega monteeritavatest raudbetoonist elementidest. Arvutustes on aluseks võetud konkreetse firma hinnapakumine ja ehitusturul valitsevaid hetke ehitushindasid. Tabel 3.3. „Monteeritavast raudbetoonist mahutite paigalduskulud” on koondatud arvatud töömahud ja neile vastavad ehitustööde maksumused.

Tabel 3.3. Monteeritavast raudbetoonist mahutite paigalduskulud

Kood	Kirjeldus	Ühik	Kogus	Ühiku maksumus	Summa
1	2	3	4	5	6
A	Lammutustööd ja ettevalmistustööd				
A1	Puude raadamine	m ²	700	5	3 500
A2	Kõikide lammutusjääkide äravedu ja nõuetekohane utiliseerimine	kogum	1	1 000	1 000
B	Pinnasetööd ja alused				
B1	Reoveepuhasti alt kasvupinnase koorimine	m ²	152	3	456
B2	Reoveepuhasti mahutitele süvendi kaevamine (geomeetriline maht)	m ³	500	3	1 500
B3	Reoveepuhasti mahutitele killustikaluse tegemine (geomeetriline maht)	m ³	27	15	405
B4	Reoveepuhasti mahutite ümber tagasitäite tegemine (geomeetriline maht)	m ³	250	5	1 250
B5	Pinnase planeerimine	m ²	700	3	2 100
C	Monteeritavad elemendid				
C1	Reservuaar	kompl	1	24 000	24 000
C2	Reservuaari peale laadimine	kompl	1	2 600	2 600
C3	Reservuaari transport	kompl	1	6 000	6 000
C4	Reservuaari paigaldamine	kompl	1	5 500	5 500
C5	Raudbetoonirenni valamine (liigmuda äraveoks)	kogum	1,0	300	300
E	Elekter, automaatika ja nõrkvool				
E1	Elektri ja automaatikatööd	kogum	1	62 000	62 000
E2	Reoveepuhasti ühendamine kaugjälgimis- ja juhtimisüsteemiga (Teenuspakkuja ABB)	kogum	1	16 500	16 500
F	Tehnoloogia tööd				
F1	Seadmete paigaldamine	kogum	1	115 000	115 000
F2	Toruarmatuuri paigaldamine	kogum	1	5 000	5 000
F3	Tehnoloogiliste torustike paigaldamine	kogum	1	5 000	5 000
F4	Võsu reoveepuhastile tihenendud muda vastuvõtusüsteemi rajamine	kogum	1	5 000	5 000
				KOKKU	257 111

Tabelis 3.3 „Monteeritavast raudbetoonist mahutite paigalduskulud” moodustavad **160 m³** monteeritavast raudbetoonist reoveemahuti võrreldavad ehituskulud ehitise konstruktsiooni arvestades summa suurusega **257 111 EUR**.

3.2 Konstruktsioonitüüpide võrdluse analüüs

Käesolevas lõputöös olid võrreldavateks konstruktsioonitüüpideks:

- i) monoliitsest raudbetoonist mahuti,
- ii) monteeritavast raudbetoonist mahuti ja
- iii) polüetüleen mahuti.

See ei oma tähtsust, millise reoveemahuti konstruktsiooni tüübi me ühe või teise objekti puhul valime, olulised on vaid sellele esitatavad nõuded. Esitatavad nõuded saame sünteetiliselt jagada kaheks, milledeks on tootele esitatavad nõuded nagu näiteks mahuti maht, tugevus, veetihedus ning eelarve optimeerimise seisukohast toote maksumus, ehitamise kiirus ja keerukus, samuti ka toote kättesaadavus. Nendest nõuetest lähtuvalt on koostatud Tabel 3.4. ”Reoveemahuti konkureerivate konstruktsioonitüüpide analüüs”, kus on välja toodud monoliitsest raudbetoonist, monteeritavast raudbetoonist ning PE-mahutite eelised ja puudused.

Tabel 3.4. Reoveemahuti konkureerivate konstruktsioonitüüpide analüüs

Tootele esitatavad nõuded maht, tugevus, veetihedus, tarneaeg		
Eelarve optimeerimine maksumus, ehitamise kiirus, ehitamise keerukus		
Monoliitsest raudbetoonist mahuti	PE-mahuti	Monteeritavast raudbetoonist mahuti
<i>Eelised:</i> Saab ehitada sellise mahuga nagu ehitusobjekti vajadus on.	<i>Eelised:</i> Mahutid toodetud ja katsetatud tehases, kiire tarne, omahind madal. Paigaldamine kiire ja ei vaja erikvalifikatsiooniga personali.	<i>Eelised:</i> Mahutid toodetud ja katsetatud tehases, laoseisus olemas, kiire tarne. Tagatud mahutite veepidavus, samuti saab lasta läbiviigud tehases teha, millega tagatakse veepidavus ja üks kallis töö objektil vähem. Paigaldamine kiire ja ei vaja erikvalifikatsiooniga personali.

<i>Puudused:</i> Ehitamine aeganõudev, vajab erikvalifikatsiooniga personali, töö sõltub ilmastikutingimustest, suurte mahtude korral vajalik katkematu betoonivalu. Raske tagada mahutite veetihedust, eriti mis puudutab läbiviike. Ebakvaliteetse töö korral parandamine kallis ja ajakulukas.	<i>Puudused:</i> Valmismahutite väike maht (kuni 60m ³ , suuremad tarnitavad eriveosena). Voolukiirusel üle 150 l/s ei saa enam kasutada. Paigaldamissügavused suured, mahutit peab kindlustama pinnasevee üleslükkejõule ja pinnasekoormusele. Rajades mahutite pargi, muudab kasutatavate seadmete rohkus hinna kalliks.	<i>Puudused:</i> Mahuti elementide hind, transpordikulu
<i>Maksumus:</i> 279 050€	<i>Maksumus:</i> 367 784€	<i>Maksumus:</i> 257 111€
<i>Erinevus:</i> 21 939€	<i>Erinevus:</i> 110 673€	<i>Erinevus:</i> 0€

Sõltuvalt kinnistu suurusest, kuhu Võsupere ja Palmse reoveepuhasti rajati, olid kinnistul tehtavad ettevalmistustööd, nagu raadamine, ühesuguse suurusega kõigil kolmel võrreldud konstruktsiooni tüübi puhul.

Tööde mahu osas suuremad erinevused tekkisid pinnasetööl ja mahutitele aluse rajamisel. Kahel juhul - mahuti rajamisel monoliitsest raudbetoonist ja monteeritavast raudbetoonist on kasvupinnase koorimine, süvendi kaevamine, killustikaluse tegemine ning mahutite ümber tagasitäite tegemine ühte suurusjärku jääva mahuga. Monoliitsest raudbetoonist mahuti rajamiseks oli vaja kasvupinnast koorida 150 m² ja süvend mahutitele rajati 400 m³. Monteeritavast raudbetoonist mahutitel on vastavad näitajad kasvupinnase koorimise puhul 152 m² ja süvendi kaevamise korral 500 m³. Erinevus tekib PE-mahutite paigaldamiseks rajatava süvendiga, seal on kahe teise konstruktsiooni tüübiga võrreldes töö maht praktiliselt kahekordne- kasvupinnase koorimist on vaja teha 279 m² ja süvendit on vaja kaevata 978 m³ ulatuses.

Järgmisel suuremal tööfrondil, mis otseselt puudutab mahutite rajamist ja paigaldamist võib märgata samasuguseid seoseid, et monoliitsest raudbetoonist mahutite rajamise maksumus on 43 570 € ja monteeritavast raudbetoonist mahutite rajamine läheb maksma 38 400 €, see vastu PE-mahutite paigaldus läheb maksma 57 905 €. Siinjuures on tähelepanuväärne, et monoliiditööde korral tehakse kõik tööetapid ehitusobjektile, milledeks on erinevad ettevalmistustööd (muuhulgas raketise teostamine, armatuuri paigaldamine), betoonisegu transport ehitusobjektile, betooni vastuvõtmine, betooni teisaldamine ehitusplatsil töötsooni, valuetapp koos betoonivalu tihendamisega, betooni järelhooldus ning kõige lõpuks veel lahti raketamine. Lisaks mõjutavad nende tööde tegemist

ilmastikuolud, objekti asukoht ja eripära, ehitusbrigaadi kvalifikatsioon ja professionaalsus jne. Monteeritavatest raudbetoonist elementidest ehitamisel mängib olulist rolli elementide maksumus, mis oli paigalduse koguhinnast 24 000 €. Samuti suure osa, 8 600 €, moodustas elementide transpordivahenditele laadimine ja Eestisse transport. Siinjuures on aga oluline ära märkida, et monteeritavast raudbetoonist elementidest ehitamise korral ei oma ilmastikutingimused nii suurt rolli, kui monoliidi tööde puhul, sest valmiselementide paigaldamise töö on suhteliselt lühiaegne. Tabel 3.4. Reoveemahuti konkureerivate konstruktsioonitüüpide analüüs” PE-mahutite kasutamisel eelisena välja toodud odavus muutub vaadeldud objekti puhul mahutite paigaldustöödel maksumus oluliselt kallimaks võrrelduna kahe teise konstruktsiooni tüübiga. Selline olukord on tingitud eelkõige sellest, et kasutama peab kolme erinevat mahutit ja lisaks veel üht raketega betoonkaevu. Meeldetuletuseks mainin, et meie objekt vajab puhasti mahtu 160 m³, aga maksimaalne PE-mahuti maht, mis ei vaja eritransporti on 60 m³. Niisiis on ainuüksi mahutite ja betoonkaevu maksumus koos transpordiga 40 000 €, kui monoliitsest raudbetoonist ja monteeritavast raudbetoonist sai juba selle raha eest mahutid valmis ehitada.

Samasuguseid seoseid näeme ka elektri ja automaatikatööde, seadmete, torustike ning toruarmatuuri paigalduse juures. Monoliitsest raudbetoonist mahutite korral on nende tööde maksumus kokku 223 500 €, monteeritavast raudbetoonist mahuti korral on see 208 500 € ja PE-mahutite korral saame summaks 295 500 €. Monteeritavast raudbetoonist mahuti korral on see summa kõige väiksem, sest tehasest tellides saab lasta juba neil teha vajalikud läbiviigud, mis monoliitsest raudbetoonist mahuti korral tuleb teha objektil. PE-mahutite korral nii suur summade erinevus võrreldes kahe teise konstruktsioonitüübiga tuleneb vajadusest rohkemate seadmete järele, mis omakorda toob kaasa rohkem elektri- ja torutöid, milledega kaasneb ka rohkem tööks vajalikke materjale.

3.3 Alternatiivsed valitavate ehituskonstruktsioonide võrdlemise võimalused

Erinevate ehituskonstruktsioonide kasutamise otstarbekust ja efektiivsust saab mõõdistada ning analüüsida kasutades selleks mitmeid erinevaid lähenemisi, milleks on näiteks:

1. projekteeritud ja ehitatud ehitise eluiga;

Esmalt saab võrrelda, kas ehitise, milline allutatakse analüüsile, eluiga on pikem või lühem kui normatiiviks kujunenud 50 aastast. Teisalt saab analüüsida kavandatud ehitise kestvust (*durability*), kaasates siinjuures ehitise kasutuskeskkonna tingimuste mõju;

2. ehitise kasutaja jooksul tekkivad hooldus ja korrashoiu kulud;

Sellised kulutused on seotud kavandatud eluea pikkusega ning nii nagu hooldus ja korrashoid tervikuna, toimub nende analüüs ja mõju hindamine vastavuses standardiga EVS 807:2016 „Kinnisvarakeskkonna juhtimine ja korrashoid” (EVS 807:2016 2016);

3. ehitise püstitamisel ja kasutamisel vaja läinud sisendenergia;

Kulunud sisendenergiat on võimalik arvutada mitmeti, tehes seda kas vastavuses uuritava ehitise tüpoloogia üldiste kulunormidega või siis analüüsides sisendenergia kulu ehitustehnoloogiliste protsesside lõikes, allutades võrdlusele kas kogu protsessi või siis selle olulisemad ehitise energeetilist mahukust mõjutavad protsessid ja materjalid;

4. ehitise püstitamisel emiteeritud CO₂ kogus;

Ehitise püstamisega kaasnevat CO₂ emiteeritavat kogust on võimalik arvutada mitmeti, tehes seda samuti kui sisendenergia puhulgi, tehes kas vastavuses uuritava ehitise tüpoloogia üldiste kulunormidega või siis analüüsides sisendenergia kulu ehitustehnoloogiliste protsesside lõikes, allutades võrdlusele kas kogu protsessi või siis selle olulisemad CO₂ emissiooni põhjustavad elemendid, protsessid ja materjalid;

5. ehitise mõju ümbritsevale keskkonnale.

Ehitise mõju ümbritsevale keskkonnale hinnatakse mitmeti ning selle esimene indikatsioon luuakse ehitamise kavandamise käigus kui uuringule allutatakse kavandatava ehitise keskkonnamõju ning viiakse läbi selle analüüs. Rahvusvaheliselt tunnustatud on kaks lähenemist: i) strateegiliste keskkonna mõjude analüüs ning (*Strategical Environment Assessment* - SEA) ja ii) keskkonnamõjude hindamine (*Environment Impact Assessment* - EIA). Siinjuures on oluline rõhutada asjaolu, et isegi suur keskkonna mõju võib olla osaliselt või tervikuna tasakaalustatud läbi efekti (mõju keskkonnale) mida uuritav ehitise ise kaasa toob.

Peatudes ehitise mõjul looduskeskkonnale, on võimalik kaardistada terve rida ehitise elutsükli jooksul arvesse võetavaid komponente, millised ilmestavad ehitise kui objekti mõju keskkonnale. Kohandades Chrystalla Chrysostomou, Angeliki Kylili, Demetris Nicolaides Paris A. Fokaidese poolt 2015. aastal kirjeldatud mõjureid seotuna betooni tootmisega väikestes ja üsnagi isoleeritud riikides (Chrysostomou et.al 2015) on keskkonnale avaldatava mõju kontekstis kaardistavad järgmised mõjurid:

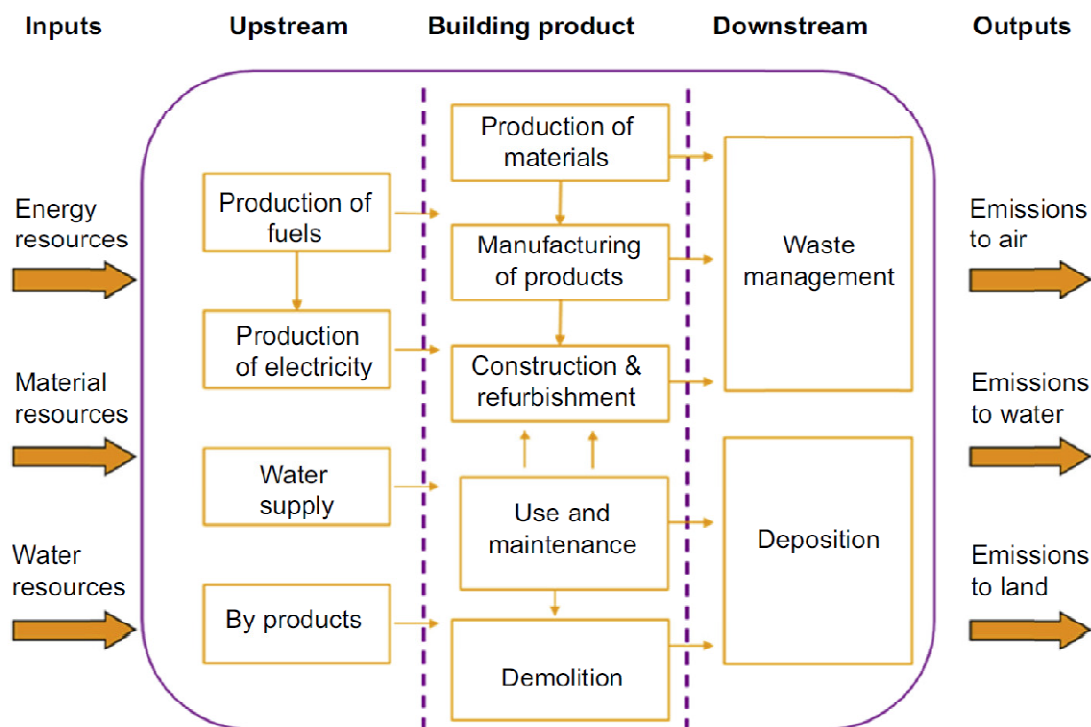
Tabel 3.5. Keskkonnale avalduvate mõjude mõõdistamise indikaatorid

Mõju indikaator	Mõju iseloomustavad parameetrid	Ühik
Globaalse soojenemise potentsiaal (<i>Global warming potential</i>)	See indikaator kirjeldab CO ₂ ja metaani keskkonda paiskamise tagajärjel kaasneda võivat temperatuuri kasvu ja seeläbi mõju ökosüsteemile ja inimestele.	Mõõdetakse kg CO ₂ -Eq toote massiühiku (mahuühiku) kohta
Happelisuse potentsiaal (<i>Acidification potential</i>)	See marker kirjeldab looduskeskkonna happelisuse muutust, mis mõjutab pinnast, elusorganisme, materjalide struktuuri ja looduskeskkonda tervikuna.	Mõõdetakse kg SO ₂ -Eq toote massiühiku (mahuühiku) kohta
Eutrofeerumise potentsiaal (<i>Eutrophication potential</i>)	See marker näitab nitraatide ja fosfaatide (heitvesi, saasteained) loodusesse paiskamise tagajärjel muutuva biomassi produktsiooni muutust.	Mõõdetakse kg phosphate-Eq toote massiühiku (mahuühiku) kohta
Osoonikihi ammendamise potentsiaal (<i>Ozone depletion potential</i>)	See marker kirjeldab muutusi osoonikihis seotuna päikese ultraviolet kiirguse mõju kasvuga, mis on seotud jätkuva ja kasvava CFCs ja HCFC paiskamisega atmosfääri.	Mõõdetakse kg R11-Eq massiühiku (mahuühiku) kohta
Väliskeskonna (bioota) ammendamise potentsiaal (<i>Abiotic depletion elements</i>)	See marker kirjeldab looduslike mitte taastuvate toorainete mahu vähenemist ning väljendab loodusressursside kasutamise võimalikkuse muutust.	Mõõdetakse kg Sb-Eq toote massiühiku (mahuühiku) kohta
Fossiilide ammendamise potentsiaal (<i>Abiotic depletion fossil</i>)	Nimetatud kategooria indikaator näitab fossiilsete kütuste (õli, süsi, looduslik gaas) ³⁹ reserve ammendumist.	Mõõdetakse energia kuluna MJ toote massiühiku (mahuühiku) kohta
Inimkeskkonna saastamise potentsiaal (<i>Human toxicity potential</i>)	See marker kirjeldab inimese tervist mõjutavate toksiliste ainete õhku, pinnasesse ja vette paisatava koguse kasvu.	Mõõdetakse kg DCB-Eq toote massiühiku (mahuühiku) kohta
Fotokeemiline osooni loomise potentsiaal (<i>Photochemical ozone creation potential</i>)	Selle mõju põhjustab hüdrokarbonaatide paiskamine atmosfääri osoonikihtidesse ning see on kumulatiivne toote elutsükli arenemisega.	Mõõdetakse kg Ethene-Eq toote massiühiku (mahuühiku) kohta

³⁹ Algselt loeti Eesti seisukohast oluline loodusressurss turvas taastavaks materjaliks ent praeguseks on turvas kui loodusressurss kantud ka fossiilsete ressursside nimistusse, seda tulenevalt tema pikast taastootmise ajast.

Loetletud erinevate mõjurite ulatuse, nende mahu (võimsuse) ja tegeliku mõju hindamiseks on asjakohane jälgida erinevate ressursside elutsükli põhist kujunemist alates toormaterjalidest kuni valmis tooteni, antud juhul ehitiseni, hinnates seejuures tooraine ja sisendenergia kogust vs valimis ehitise ja atmosfääri-, pinnase- ja vee kahjustused ning muud kaasnevad mõjud. Sellise ahela jälgimiseks kasutatakse erinevaid ressursside elutsükli kujunemise ahela etapiviilist kirjeldamise võimalusi („*cradle-to-grave*“, „*cradle-to-gate*“, „*cradle-to-cradle*“ ja „*gate-to-gate*“). Üheks enimlevinud rakenduseks vastava uurimise korraldamisel võib lugeda Joonis 3.1 kujutatud toodete elutsükli põhist lähenemist.

Ehituskeskkonnas kasutatavate materjalide jms ressursside elutsükli on võimalik analüüsida skemaatilise lähenemise alusel, lähtudes nende tooraine mahukusest, kaasnevatest energeetilistest paigutustest, emiteeritavast CO₂ kogusest jne. Sellise analüüsi koostas Brunel Ülikool 2011. aastal (Brunel University 2011) Inglise Ehitusuuringute Asutusele ((*Building Research Establishment (BRE)*)).



Joonis 3.1. Ehitustoodete elutsükli ressursipõhise analüüsi skeem (Allikas: BRE internal report prepared for TSB NATCOM project by Brunel University, 2011).

Paraku eeldab sellise mudeli rakendamine märkimisväärse koguse sisendite haldamist kontekstis nende edasine dünaamika protsessi käigus kuni lõpptoodangu – ehitise

hindamiseni, seda kogu elukaare vältel tekkivate muude keskkonda kahjustavate parameetrite ja emissioonide kontekstis. Eeltoodu loob seisukoha, et esmase võrdlemise tarbeks on asjakohane, seda eriti käesoleva lõputöö üldist eesmärki arvestades, jälgida sisendenergia ning emiteeritava CO₂ koguseid ning variantide hindamisel võtta nende kaalutud kogused aluseks efektiivsuse määramisel.

Konkreetsuse huvides tuleb esile tuua asjaolu, et nii CO₂ emissioon kgCO₂e/m³ kui ka kasutatav sisendenergia kogus MJ/m³ on üheses korrelatsioonis betooni margiga ning selle keskkonna klassiga. Viimast arvestades on Teresa McGrath koos kaasautoritega (McGrath, et al. 2012)⁴⁰ loonud vastava esialgse klassifikatsiooni, mida kirjeldades saame luua lõputöö tarbeks Tabel 3.6, mis kirjeldab CO₂ ja sisendenergia koguseid betoonis.

Tabel 3.6. CO₂ ja sisendenergia arvestuslikud kogused vastavalt betooni margile ja klassile

Mõõdetav parameeter	Betooni klass/töökeskkonna klass		
	C25/30 XC2	C32/40 XD3	C25/30 XF2
Sisend energia MJ/m ³	1701,941	1974,30	1810,70
CO ₂ emissioon kgCO ₂ e/m ³	276,760	324,18	295,72

Kõrgsurvestatud polüetüleen (HDPE) sisendenergia on vahemikus 105-120 MJ/kg (Mohamed, et al. 2014); (Dormer, et al. 2013). Polüetüleen tootmisel tekkiv CO₂ emissioon on Thiriez (Thiriez 2006) avaldatud andmetel ca 1618 g 1 kg polüetüleenist materjali kohta; esitatud suuruseid on võimalik kasutada vastava võrdlusanalüüsi teostamisel käesoleva lõputöö käigus.

CO₂ ja sisendenergia koguse hindamiseks erinevate võrreldavate variantide lõikes saame luua vastava andmiku (Tabel 3.7 ja Tabel 3.8).

Tabel 3.7 Konstruktsioonilahenduste võrdlemine CO₂ emissiooni alusel

Reovee mahuti konkureerivate konstruktsioonitüüpide analüüs			
Konstruktsioonitüübi lahenduse kaalumise alused: energiamahukus			
Objekti tüüp	Monoliitraudbetoon mahuti (kgCO ₂ e/m ³)	PE-mahuti (kgCO ₂ e/kg)	Monteeritav raudbetoon mahuti (kgCO ₂ e/m ³)
Erikulu	324,18	110,00	324,18

⁴⁰ Täpsema arvutamise ja indekseerimise metoodika võib leida raamatust 2018.a Springer poolt kirjastatud raamatust „Embodied Carbon in Buildings Measurement, Management, and Mitigation“ (Pomponi, De Wolf ja Moncaster 2018)

Maht	108,40	7 950,00	72,40
CO ₂ kogus kokku	35 141,11	874 500,00	23 470,60

Tabel 3.8. Konstruksioonilahenduste võrdlemine sisendenergia alusel

Reovee mahuti konkureerivate konstruksioonitüüpide analüüs			
Konstruksioonitüübi lahenduse kaalumise alused: energiamahukus			
Objekti tüüp	Monoliitraudbetoon mahuti (MJ/m ³)	PE-mahuti (MJ/kg)	Monteeritav raudbetoon mahuti (MJ/m ³)
Erikulu	1974,30	120,00	1974,30
Maht	108,40	7950,00	72,40
Sisendenergia kokku	210 014,12	954 000,00	142 939,32

Lisaks esitatud lähenemisele on võimalik, seda täpsema ehitustööde mahtude loetelu (*bill of quantities*) olemasolu korral, luua erinevate konstruksiooni tüpoloogiatele vastavad tabelid CO₂ emissiooni põhiselt, arvestades CO₂ emissiooni sarnaselt ühikmaksumuse kalkuleerimisele, ent tehes seda vastavalt gaasi emissiooni põhiselt. Viidatud analüüsiks loob võimaluse Inglismaal 2010. aastal kirjastatud eelarveliste hindade kogumik „*UK building blackbook*“, *The Capital Cost and Embodied CO₂ Guide. Hutchins' 2010 edition*“ (UK building (UK Building Blackbook 2009).

Nimetatud hinnakirja kasutamine eeldab elementaarse ehitustehnoloogilise tööde liigendatuse olemasolu, mis antud lõputöö kontekstis on olemas, seda teatatud mõõndustega ainult monoliitsest raudbetoonist variandi korral. Erinevate võrreldavate variantide teostamisega kaasnevate mullatööde mahud on samuti võimalik reprodutseerida nende energeetilise mahukuse ja CO₂ emissiooni mahu põhiselt, ent keskendumine betoonile kui põhiressursile on olulisim (vt Tabel 3.9).

Tabel 3.9 CO₂ emissioon monoliitse raudbetoonmahuti rajamisel (elementtööde põhine emissioon)

Kirjeldus	Ühik	Kogus	Ühiku CO ₂ sisaldus	Summa
Puude raadamine	m ²	700,00	0,6540	457,80
Kõikide lammutusjääkide ära vedu ja nõuetekohane utiliseerimine	m ²	700,00	0,1390	97,30
Reoveepuhasti alt kasvupinnase koorimine	m ³	150,00	0,5030	75,45

Reoveepuhasti mahutitele süvendi kaevamine (geomeetriline maht)	m ³	400,00	3,2160	1 286,40
Reoveepuhasti mahutitele killustikaluse tegemine (geomeetriline maht)	m ³	22,00	300,3000	6 606,60
Reoveepuhasti mahutite ümber tagasitäite tegemine (geomeetriline maht) liiv, tihendamine	m ³	200,00	18,6630	3 732,60
Pinnase planeerimine	m ²	700,00	0,1180	82,60
CO₂ sisaldus mullatöodes				12 338,75
Betoonitööd				
Mahutitele monoliitse r/b põrandaplaadi (sh. armatuuri paigaldamine)	m ³	27,60	308,6400	8 518,46
Mahutitele monoliitse r/b seinte valamine (sh. armatuuri paigaldamine)	m ³	52,00	313,7000	16 312,40
Mahutitele monoliitsete r/b katteplaatide valamine (sh. armatuuri paigaldamine)	m ³	11,80	322,4980	3 805,48
Järelsetitisse kaldpinna valamine	m ³	9,50	322,4980	3 063,73
Mudatihendisse kaldpinna valamine	m ³	4,50	322,4980	1 451,24
Raudbetoonrenni valamine (liigmuda äraveoks)	m ³	1,00	322,4980	322,49
Reoveepuhasti mahutitele luukide paigaldamine, FRP	tk	8,00	96,5540	772,43
CO₂ sisaldus betoonitöodes				34 246,23
CO₂ sisaldus KOKKU				46 584,98

Vaadeldes lõputöö alapeatükis 3.3 „Alternatiivsed valitavate ehituskonstruksioonide võrdlemise võimalused” teostatud analüüsi tulemusi saame järjestada võrreldavad ehitustehnilised lahendused heitvee reservuaaride ehitamise osas alljärgnevalt:

Konstruksioonitüübi lahenduse kaalumise energiamahukuse põhjal alljärgnevalt (vt. eelnev Tabel 3.8):

1. Monteeritav raudbetoon mahuti **142 939,32** (MJ/m³)
2. Monoliitraudbetoon mahuti **210 014,12**(MJ/m³)
3. PE-mahuti **954 000,00** (MJ/kg)

Konstruksioonitüübi lahenduse kaalumise CO₂ emissiooni põhjal alljärgnevalt (vt. eelnev Tabel 3.7):

1. Monteeritav raudbetoon mahuti **23 470,6** (kgCO₂e/kg)
2. Monoliitraudbetoon mahuti **35 141,1** (kgCO₂e/kg)

3. PE-mahuti **874 500,0** (kgCO₂e/kg)

Eeltoodust saab teha järelduse, et keskkonna aspektidest lähtuvalt on efektiivseim lahendus monteeritava raudbetoon mahuti rajamine. Oluline on aktsentueerida tähelepanu selle, et ei monteeritav variant ega PE mahutipark ei sisalda transpordiga kaasnevate energia ja CO₂ emissiooni mahtusid. Nimetatud asjaolu võib *ceteris paribus*, luua teatud võrdsuse monoliitse ja monteeritava variandi vahel.

Peatudes näitena koostatud monoliitse raudbetoonist reservuaari elementtööde CO₂ emissiooni põhisel kulutabelil (Tabel 3.7) saab töö autor konstateerida, et McGrath (McGrath, et al. 2012) poolt koostatud lähteandmete ning nn *Black book* (UK Building Blackbook 2009) (Tabel 3.9) põhisel ei esinegi olulist erinevust betoonitööde kontekstis emiteeritavat CO₂ koguste osas; CO₂ emiteeritavad kogused vastavalt 35 141,11 kgCO₂e/m³ (McGrath andmed) ja 34 246,23 kgCO₂e/m³ (*Black book* metoodika).

Tõdemus, et *Black book* (UK Building Blackbook 2009) metoodika järgi on mullatöödel CO₂ emissiooni maht suur, tuleneb osaliselt ka asjaolust, et kasutatavad ehitusmasinad emiteerivad CO₂ kõrge intensiivsusega.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli võrrelda omavahel kolme erinevat reservuaaride konstruktiivset lahendust, arvestades sealjuures nii nende püstitamiseks vajaliku ehitustöö teostamise keerukust, kui ka konkreetseid rahalisi tegureid, millised mõjutavad otseselt eelarve moodustumist ning omavad olulist tähendust ehitusobjekti lõppmaksumuse määramisel. Läbi sellise erinevate konstruktsiooni lahenduste võrdluse oli püstitatud eesmärk leida optimaalne toode, mis on kulupõhiselt efektiivne ning saada teada, kas eksisteerib selgepiiriline erisus ja majanduslik põhjendatus ühe või teise variandi kasutamiseks. Erinevaid reoveepuhastite mahuteid ja nende paigaldamisega seotud kulusid ning töö teostamise meetodeid võrreldi reaalse ehitusobjekti näitel, milleks vaadeldi võrdluse loomise eesmärgil hüpoteetilist olukorda, kus ehitusprojekti põhisesse asukohta ei paigaldatud mitte monoliitset raudbetoonist mahuteid, vaid neid asendasid kas PE-mahutid või monteeritavast raudbetoonist mahutid.

Lõputöös kirjeldati erineva konstruktsiooniga mahutite ehituse ja paigalduse teoreetilisi lähtekohti lähtuvalt Eesti Vabariigi standarditest ning nende põhjal koostatud juhenditest, samuti kasutati ja analüüsiti tootjate poolt etteantud paigaldusjuhendeid.

Lisaks mahutite ehituse ja paigalduse teoreetilistele teadmistele tutvustati täpsemalt etaloniks valitud ehitusobjekti ning selgitati, millistel alustel ja miks sai konkreetne objekt valitud. Samuti kontsentreeriti tähelepanu keskkonnast tulenevatele mõjutustele, mis olid eelkõige seotud etalonobjekti asukohaga. Eeltoodu põhiselt omas asukoht ise, sellega kaasnev ehitusgeoloogiline situatsioon, aga ka juurdepääs kinnistule, millel asub etalonobjekt, ning üldine teede ja muu taristu olukord, märkimisväärsed tähtsust.

Käesolevas lõputöös olid võrreldavateks konstruktsioonitüüpideks:

- i) monoliitset raudbetoonist mahuti,
- ii) monteeritavast raudbetoonist mahuti ja
- iii) polüetüleen mahuti.

Eelnimetatud konstruktsioonitüüpide võrdlemisel selgus, et valitud etalonobjekti parimaks lahenduseks on monteeritavast raudbetoonist mahutite kasutamine, mis edestas oma

maksumuse poolest monoliitsest raudbetoonist mahutite ehitust. Monteeritavast raudbetoonist mahutite kasutamise eelis ilmneb ka suuresti monoliitsest raudbetoonist mahutite rajamise kitsaskohtades. Siinkohal võib välja tuua näiteks, et betoonvalmistooted on tehases toodetud olles mõjutamata ilmastikuoludest, katsetatud ja konstrueeritud vastavalt, et tagada toote nõuetele vastavus, muuhulgas veepidavus. Toote paigaldust ei mõjuta olulisel määral ilmastikuolud, paigaldus on kiire ja lihtne võrreldes monoliitsest raudbetoonist mahutite ehitusega, milliseid töid peaksid teostama erikvalifikatsiooni saanud tööjõud.

Etaloniks valitud ehitusobjekti raames ei ole PE-mahutite kasutamine mingilgi määral otstarbekas, kuna objekti ehitusmaksumus kujunes $\frac{1}{3}$ võrra kallimaks. Vahesel määral oli see tingitud pinnasetööde peaaegu kahekordsest mahust võrreldes teiste konstruktsioonitüüpidega. Suuremal määral mõjutas hinda mitme väikese mahuti paigaldamisest tekkiv vajadus rohkematele puhasti tööprotsessis osalevatele seadmetele, millest tulenevalt tekkis ka suurem seadmete ja toruarmatuuri paigaldamisega seotud kulu.

Käesolevas lõputöös teostatud kolme erineva konstruktsioonitüübi lahenduse võrdlev analüüs CO₂ emissiooni ja sisendenergia alusel kinnitas maksumuspõhise analüüsi tulemusi. Loodust enim säästvaks osutus monteeritavate raudbetoonist mahutite tootmine ning paigaldus, väikese erinevusega oli teisel kohal monoliitsest raudbetoonist mahutite rajamine ning PE-mahutite kasutamine osutus enim loodust säästvaks ja selle ressursse kasutavaks.

Lõputöö autori arvates sõltub õige konstruktsioonitüübi valik eelkõige konkreetse reoveepuhasti mahutite mahust. Ühiskonnas leviv loodustsäästev mõtteviis ei leia veel kajastamist ehituspakkumustes ega muudes taolistes dokumentides, nii ei ole seal kriteeriumiks CO₂emissioon ega sisendenergia.

Koostatud lõputööd on võimalik kasutada edaspidi võrdluseks ja analüüsiks suuremate või väiksemate mahutite rajamisel ning samuti ka üldiselt monoliitraudbetooni tööde ja monteeritavate raudbetoonelementide paigalduse võrdlusel.

Konkreetne töö võiks huvi pakkuda ka betoonvalmistoodete tootjatele seisukohast, kas on otstarbekas selline tootmine ka Eestisse rajada.

KASUTATUD KIRJANDUS

Acker, Arnold van. *Planning and design handbook on precast building structures*. Lausanne: Fédération internationale du béton (fib), 2014.

ATV-DVWK-A 131E. „Dimensioning of Single-Stage.“ *Activated Sludge Plants*. Hennef: GFA Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e. V., Mai 2000. a.

Beljajev, A., ja M. Tolstoi. *Ehituskonstruksioonide montaaž*. Tallinn: Eesti Raamat, 1965.

Brunel University. „BRE internal report prepared for TSB NATCOM.“ BIS, Government Response to IGT final, 22. March 2011. a.

Chudley, Roy, Greeno, ja Roger. *Construction Technology. Fourth Edition*. London, New York, Boston ...: Oearson Prentice Hall, 2005.

Direktiiv 89/106 EMÜ. „Ehitustooteid puudutavate liikmesriikide õigus- ja haldusnormide ühtlustamise kohta.“ Brüssel: Euroopa Liidu Teataja, detsember 1988. a.

Direktiiv 92/57/EMÜ. „Tööohutuse ja -tervishoiu miinimumnõuete rakendamise kohta ajutistel või liikuvatel ehitustööplatsidel.“ Brüssel: Euroopa Liidu Teataja, august 1992. a.

Dormer, Aaron, Donal Finn, Patrick Ward, ja John Cullen. „Carbon footprint analysis in plastics manufacturing.“ *Journal of Cleaner Production* 51, 2013: 133-141.

DWA-M 210. „Belebunsanlagen mit Aufstaubetrieb.“ Hennef: DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft; Abwasser und Abfall e. V., juuli 2009. a.

Ecol-Unicon. *Tooted: Ecol-Unicon*. 2019. <https://ecol-unicon.com/produkty/wspierajace/zbiorniki-modulowe-dzb/> (kasutatud 2. mai 2019. a.).

Eesti Ehitusteabe Fond. *MaaRYL 2010 : ehitustööde kvaliteedi üldnõuded. Hoone ehituse pinnasetööd*. Tallinn: ET Infokeskuse AS, 2011.

Sisetööde RYL 2013 : ehitustööde kvaliteedi üldnõuded. Hoone sisetööd. Tallinn: ET INFOkeskuse AS, 2014.

Tarindi RYL 2010 : ehitustööde kvaliteedi üldnõuded. Hoone kande- ja piirtarindid.
Tallinn: ET INFOkeskuse AS, 2012.

Ehitusseadustik. Riigi Teataja. 01. juuli 2015. a.
<https://www.riigiteataja.ee/akt/105032015001?leiaKehtiv> (kasutatud 06. märts 2019. a.).

EVS 807:2016. „Kinnisvarakeskkonna juhtimine ja korrashoid.“ Tallinn: Eesti Standardikeskus, 4. oktoober 2016. a.

EVS 812-4:2011. „Ehitiste tuleohutus.“ *Osa 4: Tööstus- ja laohoonete ning garaažide tuleohutus.* Tallinn: Eesti Standardikeskus, november 2011. a.

EVS 812-6:2012. „Ehitiste tuleohutus.“ *Osa 6: Tuletõrje veevarustus.* Tallinn: Eesti Standardikeskus, aprill 2012. a.

EVS 843:2016. „Linnatänavad.“ Tallinn: Eesti Standardikeskus, aprill 2016. a.

EVS 846:2013. „Hoone kanalisatsioon.“ Tallinn: Eesti Standardikeskus, märts 2013. a.

EVS 848:2013. „Väliskanaliseerimisvõrk.“ Tallinn: Eesti Standardikeskus, mai 2015. a.

EVS 932:2017. „Ehitusprojekt.“ Tallinn: Eesti Standardikeskus, mai 2017. a.

EVS-EN 10080:2006. „Betooni sarrusteras.“ *Keevitatav sarrusteras. Üldsätted.* Tallinn: Eesti Standardikeskus, detsember 2006. a.

EVS-EN 12255-6:2002. „Wastewater treatment plants.“ *Part 6: Activated sludge processes.* Tallinn: Eesti Standardikeskus, september 2002. a.

EVS-EN 12566-1:2016. „Reovee väikepuhastid kuni 50IE.“ *Osa 1: Tehases valmistatud septikud.* Tallinn: Eesti Standardikeskus, oktoober 2017. a.

EVS-EN 13369:2018. „Betonvalmistoodete üldeeskirjad.“ Tallinn: Eesti Standardikeskus, veebruar 2019. a.

EVS-EN 13670:2010. „Betonkonstruktsioonide ehitamine.“ Tallinn: Eesti Standardikeskus, jaanuar 2011. a.

EVS-EN 1838:2013. „Valgustehnika.“ *Hädavalgustus.* Tallinn: Eesti Standardikeskus, September 2013. a.

EVS-EN 1991-4:2006. „Ehituskonstruksioonide koormused.“ *Osa 4: Puiste- ja vedelikmahutite koormused.* Tallinn: Eesti Standardikeskus, 8. august 2006. a.

EVS-EN 1992-1-1:2005. „Eurokoodeks 2: Betoonkonstruktsioonide projekteerimine.“ *Üldreeglid ja reeglid hoonetele.* Tallinn: Eesti Standardikeskus, juuni 2009. a.

EVS-EN 206:2014+A1:2016. „Batoon.“ *Spetsifitseerimine, toimivus, tootmine ja vastavus.* Eesti Standardikeskus, detsember 2016. a.

EVS-EN 50172:2005. „Evakuatsiooni hädavalgustussüsteemid.“ Tallinn: Eesti Standardikeskus, detsember 2004. a.

EVS-EN 976-2:2000. „Klaasplastist allmaamahutid. Horisontaalsed silindrilised rõhuvabad mahutid vedelate naftabaasiliste kütuste säilitamiseks.“ *Osa 2: Ühekihilise seinaga mahutite vedu, käsitlemine, ladustamine ja paigaldamine.* Tallinn: Eesti Standardikeskus, jaanuar 2000. a.

Guo, Zhenhai. *Principles of Reinforced Concrete.* Oxford: Butterworth Heinemann, 2014.

Hirve, Andres, Heiki Meos, Marti Sein, ja Priit Põldre. *Batoon ja raudbatoon. Projekti ehituskirjeldus ja joonised.* Tallinn: Eesti Betooniühing, 2007.

Kanalisatsiooniehitiste veekaitsenõuded. „Riigi Teataja.“ 25. aprill 2010. a. <https://www.riigiteataja.ee/akt/13305356> (kasutatud 1. mai 2019. a.).

Keskkond&Partnerid OÜ. „Võsupere ja Palmse külade reoveepuhasti.“ *Põhiprojekt. Töö nr. 007/2017.* 2017.

Langeproon Inseneriehitus OÜ. „Raketised.“ Tallinn: Langeproon Inseneriehitus OÜ.

Laur, Toomas, ja Irene Lill. *Batoon ja raudbatoon: Spetsifitseerimine, tehnoloogia, kvaliteet, vastavushindamine.* Tallinn: Eesti Betooniühing, 2017.

Litvinov, O., S. Alperovitš, ja G. Batura. *Ehitustehnoloogia.* Tallinn: Kirjastus "Valgus", 1984.

Majandus- ja kommunikatsiooniministri määrus nr. 49. „Ehitusmaterjalidele ja -toodetele esitatavad nõuded ja nende nõuetele vastavuse tõendamise kord.“ *Riigi Teataja.* 2. august 2013. a. <https://www.riigiteataja.ee/akt/130072013002> (kasutatud 7. mai 2019. a.).

Majandus- ja taristuminister määrus nr. 97. „Nõuded ehitusprojektile.“ *Riigi Teataja*. 21. juuli 2015. a. <https://www.riigiteataja.ee/akt/118072015007> (kasutatud 06. märts 2019. a.).

Majandus- ja taristuministri määrus nr. 101. „Tee ehitamise kvaliteedi nõuded.“ *Riigi Teataja*. 11. aprill 2016. a. <https://www.riigiteataja.ee/akt/108042016004> (kasutatud 24. aprill 2019. a.).

Majandus- ja taristuministri määrus nr. 115. „Ehitamise dokumenteerimisele, ehitusdokumentide säilitamisele ja üleandmisele esitatavad nõuded ning hooldusjuhendile, selle hoidmisele ja esitamisele esitatavad nõuded.“ *Riigi Teataja*. 4. september 2015. a. <https://www.riigiteataja.ee/akt/109092015003> (kasutatud 7. mai 2019. a.).

Majandus- ja taristuministri määrus nr. 82. „Tee ehitusprojektile esitatavad nõuded.“ *Riigi Teataja*. 06. juuli 2015. a. <https://www.riigiteataja.ee/akt/103072015029> (kasutatud 24. aprill 2019. a.).

Masso, Tiit. *Ehituskonstruktori käsiraamat*. Tallinn: Kirjastus "Valgus", 1980.

McGrath, T., S. Nanukuttan, P.A.M. Basheer, ja A.E. Long. „Embodied Energy and Carbon Footprinting of Concrete Production and Use.“ *32nd Cement and Concrete Science Conference. Paper Number PER 9*. Belfast: Queen's University Belfast, 17. september 2012. a.

Mohamed, Radin Maya Saphira Radin, Gazala Sanusi Misbah, Anwaruddin Ahmed Wurochekke, ja Amir Hashim bin Mohd. Kassim. „Energy Recovery from Polyethylene Terephthalate(PET) Recycling Process.“ *GSTF International Journal of Engineering Technology (JET) Vol. 2 No. 4*, aprill 2014. a.

Pomponi, Francesco, Catherine De Wolf, ja Alice Moncaster. *Embodied Carbon in Buildings Measurement, Management, and Mitigation*. Springer International Publishing, 2018.

Riigikohtu kriminaalkolleegiumi. „kohtuotsus kriminaalasjas nr 3-1-1-7-10.“ *"Vahtang Mikaja süüdistuses KarS § 408 lg 1 järgi"*. Tartu: Riigi Teataja, 17. märts 2010. a.

RIL 77-2013. „Pinnasesse ja vette paigaldatavad plasttorud.“ *Paigaldusjuhend*. Tallinn: ET Infokeskuse AS, detsember 2015. a.

RT 18-10922. „Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitotaksot.“ Helsinki: Rakennustieto Oy, mai 2008. a.

Ruohomäki, Juhani, Pentti Jormalainen, Valto Pärssinen, Erkki Saarikivi, ja Kai Söderholm. *Sarrusetööd*. Tallinn: Ehitame kirjastus, 2008.

Siseministri määrus nr. 17. „Ehitisele esitatavad tuleohutusnõuded ja nõuded tuletõrje veevarustusele.“ *Riigi Teataja*. 7. aprill 2017. a. <https://www.riigiteataja.ee/akt/104042017014> (kasutatud 24. aprill 2019. a.).

Siseministri määrus nr. 39. „Nõuded tulekustutitele ja voolikusüsteemidele, nende valikule, paigaldamisele, tähistamisele ja korrashoiule.“ *Riigi Teataja*. 13. veebruar 2016. a. <https://www.riigiteataja.ee/akt/110022016004> (kasutatud 24. aprill 2019. a.).

Suomen Betoniyhdistys. *BY 65 Betoninormit 2016*. Jyväskylä: BY-Koulutus Oy, 2017.

Tee ehitamise kvaliteedi nõuded. *Riigi Teataja*. 11. aprill 2016. a. <https://www.riigiteataja.ee/akt/108042016004> (kasutatud 1. mai 2019. a.).

Thiriez, Alexandre. „An Environmental Analysis of Injection Molding.“ Massachusetts, 3. mai 2006. a.

Töötervishoiu ja tööohutuse nõuded ehituses. *Riigi Teataja*. 1. jaanuar 2019. a. <https://www.riigiteataja.ee/akt/105122018010> (kasutatud 19. märts 2019. a.).

UK Building Blackbook. *The Capital Cost and Embodied CO2 Guide*. Hutchins 2010. London: Franklin & Andrews Ltd., 2009.

Uusitalo, Jukka, Jouko Ihanamäki, Raimo Rajala, ja Olavi Vallin. *Betoonitööd*. Tallinn: Ehitame kirjastus, 2008.

Uustalu, Enn. „Betooni pragunemine.“ *Ehitaja*, 2001: 8-11.

Vabariigi Valitsuse määrus nr.171. „Kanaliseerimisehitiste veekaitsenõuded.“ *Riigi Teataja*. 25. aprill 2010. a. <https://www.riigiteataja.ee/akt/13305356> (kasutatud 23. aprill 2019. a.).

Vabariigi Valitsuse määrus nr.99. „Reovee puhastamise ning heit- ja sademevee suublasse juhtimise kohta esitatavad nõuded, heit- ja sademevee reostusnäitajate piirmäärad ning

nende nõuete täitmise kontrollimise meetmed.“ *Riigi Teataja*. 01. jaanuar 2017. a. <https://www.riigiteataja.ee/akt/116122016006> (kasutatud 23. aprill 2019. a.).

Veeseadus. *Riigi Teataja*. 6. jaanuar 2017. a. <https://www.riigiteataja.ee/akt/127122016006> (kasutatud 1. mai 2019. a.).

Ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni seadus. *Riigi Teataja*. 01. jaanuar 2015. a. <https://www.riigiteataja.ee/akt/123122014023> (kasutatud 23. aprill 2019. a.).

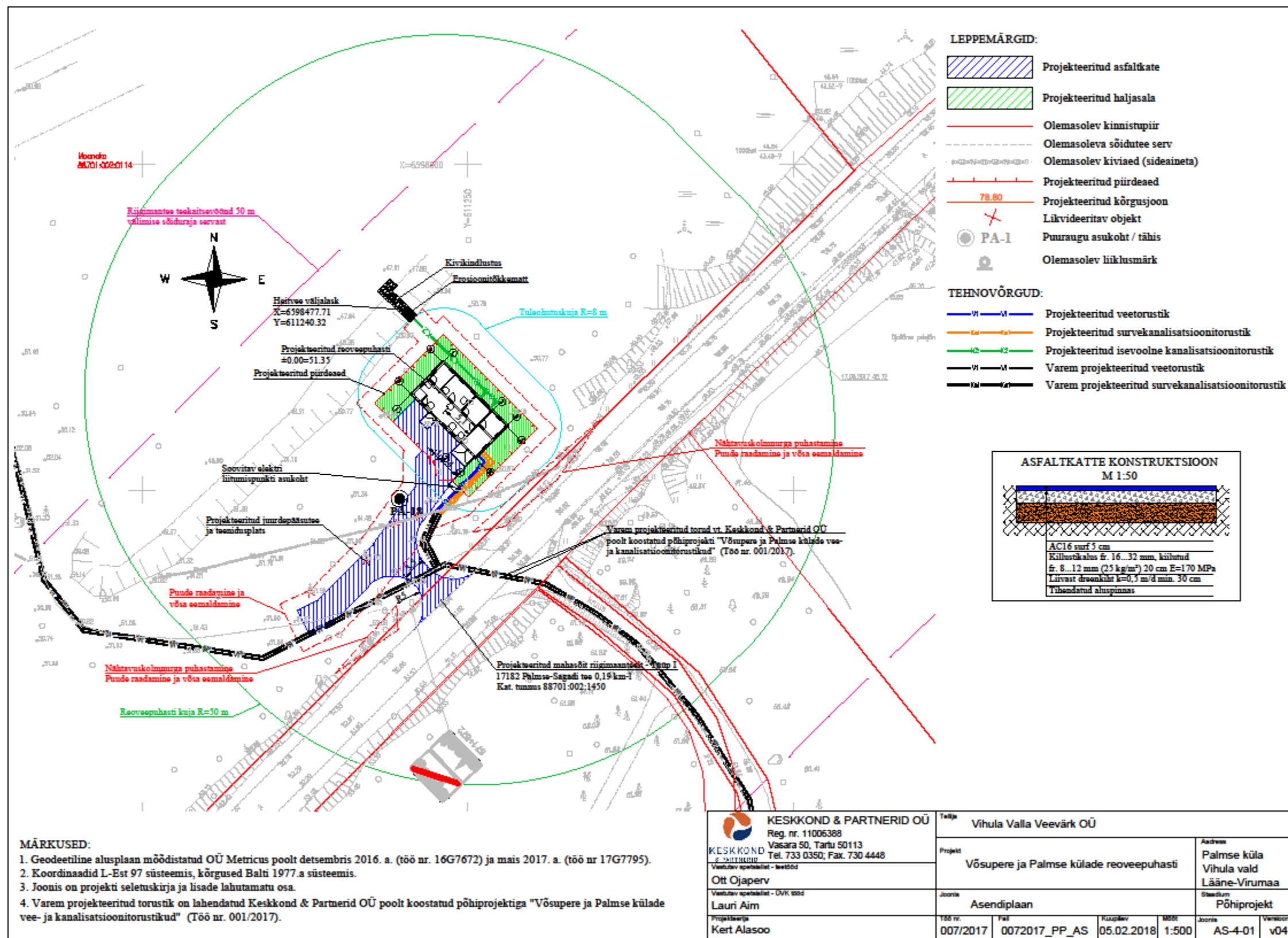
Нестле, Х. *Справочник строителя. Строительная техника, конструкции и технологии*. Москва: Техносфера, 2008.

LISAD

Lisa 1 Poola firma *Ecol-Unicon* monteeritava raudbetoon mahuti konstruktsiooni tehnilised parameetrid

Załącznik techniczny	
ZBIORNIK EU	
ECOL-UNICON Sp. z o.o. ul. Równa 2, 80-067 Gdańsk	
Nazwa inwestycji	Inwestycja
Nazwa zbiornika	Zbiornik retencyjny Vcz=120 m3
Parametry techniczne zbiornika owalnego	
Pojemność całkowita [m³]	142,8
Pojemność dla Hu=2,6m [m³]	123,7
Wysokość wewnętrzna Hwew [m]	3
Szerokość / długość zewnętrzna Dz/Lz [mm]	6360/9360
Szerokość / długość wewnętrzna Dw/Lw [mm]	6000/9000
Pole powierzchni wew. zbiornika w planie [m²]	49,5
Masa najcięższego elementu [t]	22,6 *
*ostateczna masa najcięższego elementu zostanie określona przed dostarczeniem zbiornika	
SCHEMAT POGLĄDOWY ZBIORNIKA	
Zbiornik wykonywany zgodnie z Aprobata Techniczną Instytutu Techniki Budowlanej ITB AT-15-9425/2016.	
Zbiornik zlokalizowany w terenie nieprzejezdowym. Obciążenie technologiczne 5 kN/m2.	
Klasa wytrzymałości betonu (wg PN-EN 206:2014-04)	C35/45
Klasa ekspozycji betonu (wg PN-EN 206:2014-04)	XC4, XA1, XF1, XD3, XS3
Nasiąkliwość betonu (wg PN-88/B-06250)	<5%
Stopień wodoprzepuszczalności betonu (wg PN-88/B-06250)	W8
Stopień mrozoodporności betonu w wodzie (wg PN-88/B-06250)	F150
Stopień mrozoodporności betonu w 2% NaCl (wg PN-88/B-06250)	F50
Wskaźnik w/c (wg PN-EN 206:2014-04)	≤ 0,45
Klasa stali zbrojeniowej żebrowanej	A-III N
Klasa elementów złącznych z zabezpieczeniem antykorozyjnym	S.8

Lisa 2. Võsupere ja Palmse külade reoveepuhasti asendiplaan



Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Evely Samun,

sünniaeg 26.09.1978,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö Mahutite erinevate konstruktsioonilahendite võrdlus maksumuspõhisel lähenemisel (objektipõhine lähenemine)

mille juhendaja on Kaarel Sähk

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(allkiri)

Tartu, _____
(kuupäev)

Juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)